

Direction des Opérations  
Programme Dynamique, évaluation, et surveillance des écosystèmes côtiers  
(DESECO)  
Programme Approche écosystémique de l'halieutique (AESYPECHE)

Luc DREVES - Chantal ABERNOT- LE GAC  
Elvire ANTAJAN - Philippe CLABAUT  
Pascal CLAQUIN - Marie Laure COCHARD - Philippe MONBET  
Jocelyne MORIN - Alain TETARD – Caroline WARENBOURG  
Hervé THILLAYE DU BOULLAY

Septembre 2010 – Rapport DOP/LER/2010.05

## Synthèse hydrobiologique du site électronucléaire de Penly



Marché EDF n° DER9-012



## Synthèse hydrobiologique du site du C.N.P.E. de Penly

<b>Type de rapport</b> : RST (Rapports de résultats de recherches Scientifiques et/ou Techniques)		
<b>Numéro d'identification du rapport</b> :	<b>date de publication</b> :	<b>Septembre 2010</b>
<b>RST –DOP/LER 10.05</b>	<b>nombre de pages</b> :	<b>280</b>
<b>Diffusion</b> : libre - restreinte - interdite	<b>bibliographie</b> :	<b>Oui</b>
<b>Validé par</b> :	<b>illustration(s)</b> :	<b>Oui</b>
<b>Chantal Abernot-Le Gac</b>	<b>langue du rapport</b> :	<b>Français</b>
<b>Jean-Claude Cochard</b>		
<b>Luc Drévès</b>		
<b>Hervé Thillaye du Boullay</b>		
<b>Titre et sous-titre du rapport</b> :		
<b>Synthèse hydrobiologique du site électronucléaire de Penly</b>		
<b>Auteur(s) principal(aux) : nom, prénom</b>	<b>Organisme / Direction / Service, laboratoire</b>	
<b>DRÉVÈS</b> Luc	<b>Ifremer – LER – D</b>	
<b>ABERNOT - LE GAC</b> Chantal	<b>Ifremer – LER/FBN</b>	
<b>ANTAJAN</b> Elvire	<b>Ifremer – LER/BL</b>	
<b>CLABAUT</b> Philippe	<b>Géologie Littorale et Marine</b>	
<b>CLAQUIN</b> Pascal	<b>Université de Caen</b>	
<b>COCHARD</b> Marie Laure	<b>Ifremer – RH/PB</b>	
<b>MONBET</b> Philippe	<b>Ifremer – LER/FBN</b>	
<b>MORIN</b> Jocelyne	<b>Ifremer – RH/PB</b>	
<b>TETARD</b> Alain	<b>Ifremer – RH/PB</b>	
<b>WARENBOURG</b> Caroline	<b>Ifremer – RH/PB</b>	
<b>Collaborateur(s) : nom, prénom</b>	<b>Organisme / Direction / Service, laboratoire</b>	
<b>FRANCOISE</b> Sylvaine	<i>IFREMER / RHPB</i>	
<b>JUSTOME</b> Vincent	<i>IFREMER / LER/N</i>	
<b>LEGAGNEUR</b> Eric	<i>IFREMER / LER/N</i>	
<b>MAHEUX</b> Frank	<i>IFREMER / LER/N</i>	
<b>PIERRE-DUPLESSIX</b> Olivier	<i>IFREMER / LER/N</i>	
<b>RABILLER</b> Emilie	<i>IFREMER / LER/N</i>	
<b>QUINQUIS</b> Jérôme	<i>IFREMER / RHPB</i>	
<b>RIMON</b> Flore	<i>IFREMER / RHPB</i>	
<b>SCHLAICH</b> Ivan	<i>IFREMER / LER/N</i>	
<b>Organisme commanditaire : nom développé, sigle, adresse</b>		
<b>Electricité de France (EDF) – Direction des Achats – CIDEN SEPTEN</b> <b>35-37 rue Louis Guérin – BP 1212 – 69611 VILLEURBANNE CEDEX</b>		
<b>Titre du contrat</b> :	<b>n° de contrat Ifremer</b>	
<b>Organisme(s) réalisateur(s) : nom(s) développé(s), sigle(s), adresse(s)</b>		
<b>IFREMER Centre de Brest, B.P. 70, 29 280 Plouzané</b>		
<b>IFREMER Centre de Boulogne sur Mer, 150 quai Gambetta, 62321 Boulogne/Mer Cedex</b>		
<b>IFREMER Centre de Nantes, B.P. 21 105, 44311 Nantes cedex 03</b>		
<b>IFREMER Station de Port-en-Bessin, Av. du Général de Gaulle, 14 520 Port-en-Bessin</b>		
<b>Université de Caen – LBBM, 14032 Caen Cedex</b>		
<b>Géologie Littorale et Marine, 62xxx Selles</b>		
<b>Responsable administratif</b> :	<b>Hervé du BOULLAY - IFREMER / DCMMN</b>	
<b>Cadre de la recherche</b> :		
<b>Programme</b> :	<b>Convention de marché EDF n° : DER9-012</b>	
<b>Surveillance et évaluation de la qualité du milieu marin</b>		
<b>Projet</b> :	<b>I.G.A.</b>	
<b>Impact des Grands Aménagements</b>		

**Résumé :**

Ce rapport de synthèse fait le point sur l'état des connaissances hydrobiologiques marines acquises aux abords du site électronucléaire de Penly (Seine-Maritime), dans le cadre des différentes études des domaines pélagique, benthique et halieutique, menées sur ce site depuis 1976.

Chacun de ces trois domaines est divisé, autant que nécessaire, en compartiments d'étude, tels que l'hydrologie, le phytoplancton, le zooplancton pour le premier cité, la sédimentologie et la biologie benthique pour le suivant et enfin les larves de crustacés et les ressources et activités halieutiques pour le dernier cité. Pour chaque compartiment, une série de paramètres, jugés représentatifs de l'évolution de ce compartiment, est étudié. Ainsi, pour le compartiment hydrologique, sont suivis la température et la salinité de l'eau de mer, les concentrations en nutriments minéraux, les composés halogénés et le bore.

Les évolutions de ces différents paramètres ont permis d'élaborer les conclusions suivantes.

- La physiologie des espèces animales et végétales est conditionnée par les changements climatiques. L'examen des paramètres pluviométrie et température de l'air montre que la période 1990/2008 est sensiblement plus chaude que la période 1960/1989. Cela se répercute également sur la température de l'eau de mer dont les valeurs moyennes croissent régulièrement sur la période 1990/2008.
- Dans le **domaine pélagique**, le principal paramètre indicateur de l'activité de la centrale est la température de l'eau de mer utilisée dans ses circuits de refroidissement. Les écarts de température observés entre le pompage dans le canal d'amenée et le rejet en mer quelques minutes après restent faibles oscillant entre 1 °C et 3 °C. Ces écarts sont constatés en surface, dans les quelques dizaines de mètres proches de la verticale des deux tulipes de rejets. Le taux de dilution est fort du fait des courants de marée au droit du Pays de Caux. Au regard de l'influence forte du réchauffement climatique, il est impossible de déceler celle des rejets thermiques de la centrale.
- Pour le **domaine benthique**, le domaine intertidal a été étudié lors des études d'avant-projet et de projet, entre les années 1976 et 1980. Au regard des constats faits sur la pauvreté tant faunistique que floristique des estrans entre Dieppe et Le Tréport, ce domaine intertidal ne fait pas l'objet du programme de surveillance instauré à compter de 1988. Le suivi des peuplements sublittoraux, conjointement à l'étude morpho-sédimentaire initiée en 1988 et réalisée tous les quatre ans, montre des évolutions directement dépendantes des mouvements sédimentaires décrits entre la Pointe d'Ailly et Le Tréport, avec leurs répercussions sur les peuplements faunistiques inféodés.
- Dans le **domaine halieutique**, sur les paramètres étudiés, et avec les stratégies mises en place depuis 1976, aucune influence significative des rejets thermiques et chlorés de la centrale de Penly n'a pu être mise en évidence sur ce compartiment.

**Mots-clés :**

**Centrale nucléaire, Penly, EPR, Surveillance, Synthèse ; Benthos, Halieutique, Pelagos**

**Keywords :**

**Penly, Monitoring, Nuclear power plant, Synthesis ; Benthos, Fisheries, Water quality**

Ce document doit être cité de la manière suivante :

**Référence générale**

**Drévès L., Abernot-Le Gac C., (coordinateurs), Antajan E., Clabaut P., Claquin P., Cochard M., Monbet P., Morin J., Tetard A., Warenbourg C., Thillaye du Boullay H., 2010.- Synthèse hydrobiologique du site électronucléaire de Penly – Rapp. IFREMER RST.DOP/LER/10.05, septembre 2010, 280 p.**

**Référence particulière**

Cette synthèse repose, pour partie, sur les travaux coordonnés par l’Ifremer, en collaboration avec des universités, des stations marines, et des bureaux d’études. Au cours des trente dernières années, ont ainsi été mis à contribution :

*Chantal ABERNOT-LE GAC, Jean Pierre ANNEZO, Elvire ANTAJAN, Loic ANTOINE, Virginie ANTOINE, Olivier ARNAL, Geneviève ARZUL, Brigitte AUBLET, Claude AUGRIS, Anne-Sophie BARNAY, Thomas BELSHER, Pierre BODENES, Jean-François BOURILLET, Michel BOUTBIEN, Jean Michel BRYLINSKI, Louis CABIOCH, Victorien CHAPRON, Claire CHEVALIER, Philippe CLABAUT, Pascal CLAQUIN, Jean Claude COCHARD, Marie Laure COCHARD, Daniel COÏC, Marie Pierre CRASSOUS, Philippe CRASSOUS, Françoise DAGAULT, Marie-Madeleine DANIELOU, Cathy DEJOUY, Jean D’ELBEE, Annick DERRIEN, Laurence DOROBISZ, Luc DREVES, Audrey DUVAL, Evelyne ERARD LE DENN, Liliane Fiant, Sylvaine FRANÇOISE, Jean-Dominique GAFFET, Gilles GASCON, Floriane GIRARD, René GLAÇON, Francis GOHIN, Philippe GROS, Bernard GUEGUEN, Brigitte GUILLAUMONT, Daniel HALGAND, Dominique HAMON, Jérôme HUET, Jacqueline HUGUEN, Gérard JOUAN, Vincent JUSTOME, André KERBOUL Laure LAMORT, Luis LAMPERT, Gilles LEBEUZ, André LE BOT, Geneviève LE FEVRE LEHOËRFF, Eric LEGAGNEUR, Claude LE ROUX, Didier LEROY, Jérôme LETELLIER, Alain LE VERGE, Ronan LOARER, Michel LUNVEN, Franck MAHEUX, Philippe MONBET, Jocelyne MARTIN, Jean-Pierre MAZÉ, Jocelyne MORIN, Lætitia MORVAN, Loic NOGUES, Fabienne PERROT, Xavier PHILIPON, Olivier PIERRE DUPLESSIX, Jean Côme PIQUET, Jean Yves PIRIOU, Françoise QUINIOU, Jérôme QUINQUIS, Émilie RABILLER, Flore RIMON, Franck ROGER, Louis-Alexandre ROMANA, Alex RUBIN, Jacques RUDELLE, Mireille RYCKAERT, Bertrand SAULQUIN, Ivan SCHLAICH, Bernard SERET, Charlotte SOLER, Laure Simplet, Alain TETARD, Hervé THILLAYE DU BOULLAY, France TOULARASTEL, Françoise VERIN, Joël VIGNEAU, Dorothée VINCENT, Marie Claude VINCKE, Caroline WAREMBOURG, Louis WILFRIED, Daniel WOEHLING, Agnès YOUENOU*



# Sommaire

<b>Sommaire</b>	<b>7</b>
<b>1 Introduction générale</b>	<b>11</b>
<b>2 Les caractéristiques environnementales</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Climatologie</b>	<b>19</b>
2.1.1 Pluviométrie	19
2.1.2 Insolation	21
2.1.3 Température de l'air	22
<b>2.2 Température de l'eau de mer</b>	<b>25</b>
<b>3 Le domaine pélagique</b>	<b>31</b>
<b>3.1 Compartiment hydrologique</b>	<b>33</b>
3.1.1 Introduction	33
3.1.2 Méthodologie et présentation	34
3.1.3 Température et salinité	36
3.1.4 Nutriments (Ammonium, Nitrate+nitrite, Phosphate, Silicate)	41
3.1.5 Matières en suspension (MES) et trihalométhanes	46
3.1.6 Conclusions	49
<b>3.2 Le Phytoplancton</b>	<b>51</b>
3.2.1 Introduction	51
3.2.2 Biomasse phytoplanctonique	51
3.2.3 Production primaire	56
3.2.4 Abondances microphytoplanctoniques	60
3.2.5 Conclusions	66
<b>3.3 Le Zooplancton</b>	<b>67</b>
3.3.1 Introduction	67
3.3.2 Matériels et méthodes	67
3.3.3 Résultats	69
3.3.4 Conclusions	78
<b>4 Le domaine benthique - Compartiment sédimentologique</b>	<b>79</b>
<b>4.1 Introduction</b>	<b>81</b>
<b>4.2 Présentation du site</b>	<b>82</b>
4.2.1 Caractéristiques géologiques des falaises	82
4.2.2 Caractéristiques des estrans	83
4.2.3 Géologie du substratum marin	84
4.2.4 Caractéristiques morpho-sédimentaires des fonds marins côtiers	85
4.2.5 Houle	85
4.2.6 Marée	86

<b>4.3</b>	<b><i>Méthodologie</i></b>	<b>88</b>
4.3.1	Principe du sonar à balayage latéral	88
4.3.2	Prélèvement des échantillons	90
4.3.3	Analyse sédimentologique des échantillons	91
<b>4.4</b>	<b><i>État initial du site et bilan des connaissances avant mise en service</i></b>	<b>93</b>
4.4.1	Les études d'avant-projet	93
4.4.2	État de référence des fonds marins en 1988-1989	98
<b>4.5</b>	<b><i>Description des évolutions constatées de 1990 à 2008</i></b>	<b>105</b>
4.5.1	Modifications observées dans la zone commune en 1992	105
4.5.2	Modifications observées dans la zone commune en 1996	107
4.5.3	Modifications observées dans la zone commune en 2000	110
4.5.4	Bilan des modifications observées entre 1988-1989 et 2000	110
4.5.5	Évolutions entre 2000 et 2004	112
4.5.6	Description du site en 2008 et évolutions entre 2004 et 2008	115
<b>4.6</b>	<b><i>Connaissances acquises dans les secteurs « périphériques »</i></b>	<b>126</b>
4.6.1	En amont de Dieppe	127
4.6.2	En aval de Criel	130
4.6.3	Site au Nord immédiat de Dieppe-Le Tréport	131
4.6.4	Site à 12 milles au large	132
<b>4.7</b>	<b><i>Interprétation des évolutions constatées</i></b>	<b>136</b>
4.7.1	Évolution littorale	136
4.7.2	Évolution de la plage de Penly :	137
4.7.3	Mécanismes d'évolution des fonds marins entre Dieppe et Le Tréport	140
<b>4.8</b>	<b><i>Lien entre évolutions sédimentologiques et faunistiques</i></b>	<b>154</b>
<b>4.9</b>	<b><i>Conclusions</i></b>	<b>156</b>
<b>4.10</b>	<b><i>Version abrégée</i></b>	<b>160</b>
<b>5</b>	<b>Le domaine benthique - Compartiment biologique</b>	<b>169</b>
<b>5.1</b>	<b><i>Bilan des connaissances avant la mise en service de la centrale</i></b>	<b>171</b>
5.1.1	Etude écologique d'avant-projet sur le site de Penly, Pays de Caux	171
5.1.2	Étude écologique de projet sur le site de Penly, Pays de Caux	175
5.1.3	Données complémentaires sur le zoobenthos, en 1988	184
<b>5.2</b>	<b><i>Actualisation des connaissances depuis la mise en service</i></b>	<b>186</b>
5.2.1	SONPEN – Mai 1992	186
5.2.2	PYLAR – Mars 1993	188
5.2.3	PYCAUX – Juillet 1996	189
5.2.4	PYCASO – Avril 2000	190
5.2.5	CAUXSOM – Juin et juillet 2004	192
5.2.6	BENCAUX – Mai 2008	195
5.2.7	Présentation des espèces caractéristiques	197
5.2.8	Crepidula fornicata, espèce invasive	205
<b>5.3</b>	<b><i>Conclusion</i></b>	<b>208</b>
<b>6</b>	<b>Le domaine halieutique</b>	<b>209</b>



<b>6.1</b>	<b><i>L'Ichtyoplancton</i></b>	<b>211</b>
6.1.1	Méthodologie	211
6.1.2	Résultats	213
6.1.3	Conclusion	230
<b>6.2</b>	<b><i>Ressources et activités halieutiques</i></b>	<b>231</b>
6.2.1	Contexte général et méthodologie d'étude	231
6.2.2	Contexte de la pêche côtière et ses évolutions	233
6.2.3	Suivi de la nurricerie de poissons plats et de la crevette grise	244
6.2.4	Conclusion	262
<b>7</b>	<b>Conclusion générale</b>	<b>265</b>
<b>8</b>	<b>Bibliographie</b>	<b>275</b>

---



# 1 Introduction générale



Dans le cadre de l'implantation d'une nouvelle tranche sur le site de la Centrale électronucléaire de Penly (département de la Seine-Maritime), **Électricité de France** a confié à l'**IFREMER**<sup>1</sup> la constitution d'une note d'étude présentant la synthèse des études de surveillance réalisées au droit de ce site. Cette synthèse porte plus particulièrement sur les paramètres physico-chimiques, ainsi que sur la faune et la flore marine.

En fonction du contexte législatif en vigueur, Ifremer réalise en effet depuis 1976 les études écologique et halieutique du milieu marin encadrant ce site. Ces études ont été réalisées (et le sont toujours) dans un cadre législatif et réglementaire bien précis :

- Une étude essentiellement bibliographique, dite d'**Avant-projet**, fut réalisée en **1975** et **1976** par le CNEXO<sup>2</sup>, pour la partie écologique, et l'ISTPM<sup>3</sup>, pour la partie halieutique.
- L'**étude de Projet**, menée par ces deux organismes entre 1977 et 1980 (étude écologique et étude halieutique), eut pour objet d'établir un **état de référence** avant l'implantation de la centrale électronucléaire.
- L'**étude de Surveillance** a commencé en **1987**, soit deux années avant la date théorique de mise en fonctionnement de la première tranche de la Centrale (janvier 1989). La mise en route s'étant effectuée progressivement, le contenu de cette étude est resté inchangé au cours des premières années de fonctionnement réel de la Centrale.

Cette étude de surveillance devait permettre dans un premier temps d'apprécier les fluctuations naturelles pluriannuelles des principaux paramètres retenus à partir de l'étude de Projet. Dans un deuxième temps, elle doit permettre d'analyser l'incidence éventuelle de la Centrale sur le milieu marin environnant et ses ressources.

L'arrêté ministériel du 11 mai 2000, en son titre IV, chapitre IV, article 29, précise la surveillance physico-chimique et biologique de l'environnement marin en incluant l'analyse du bore dans la surveillance du domaine pélagique.

Les travaux actuellement réalisés se déroulent conformément au marché passé par EDF. Ils sont présentés dans le tableau 1.1.

---

<sup>1</sup> Organisme issu de la fusion en 1984 du CNEXO et de l'ISTPM

<sup>2</sup> Centre National pour l'Exploitation des Océans

<sup>3</sup> Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes

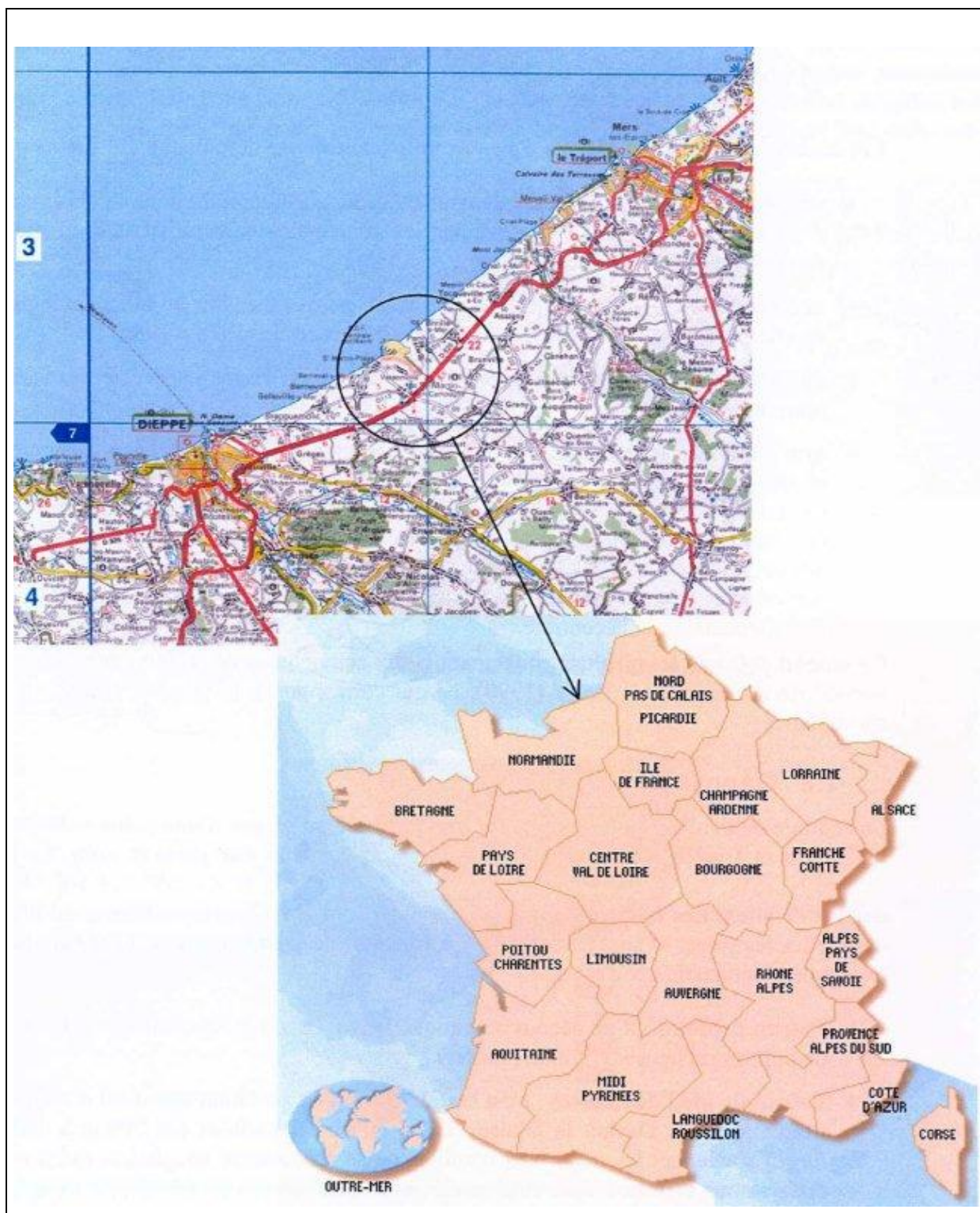


Figure. 1.1 : Situation du site de Penly

Année type	Points de prélèvement	Paramètres étudiés	Nombre de répliquats/ point	Dates missions	
DOMAINE PELAGIQUE	Référence	Température M.E.S. Bore	Référence 1 à -10m Rejet 1 subsurf. C.amenée 1 subsurf.	mars juin/juillet septembre	
Hydrobiologie		Salinité Haloformes	1 subsurface 2 subsurface		
Phytoplancton		Contrôle	Sels nutritifs NH4		Référence 2 subsurf. 2 à -10m
			Chlorophylle Phaeopigments Production primaire Identification des espèces		Rejet 4 subsurf. C.amenée 4 subsurf.
Zooplancton		Rejet	Biomasse Composition chimique (carbone, azote) Identification des espèces		6 WP2 congelés (2 triples) 1 WP2 formolé
Microbiologie	Canal d'amenée	Dénombrement des - germes totaux - germes viables Recherche des vibrions halophiles	Référence 4 Rejet 2 C.amenée 2		
		DOMAINE BENTHIQUE	Une vingtaine En fonction des levés sonar	Morphologie Sédimentologie Faunistique	2 à 3
Zoobenthos					
DOMAINE HALIEUTIQUE	Canal d'amenée Rejet Contrôle Référence	Densité des organismes holoplanctoniques et méroplanctoniques	Surface et fond  2 bongo	3 à 4 missions entre avril et juillet	
Zooplancton et Hydrologie Suivi de l'exploitation ..... et de la biologie des espèces commerciales		Température Salinité ..... sole, plie, limande crevette grise, merlan, tacaud	..... 34 traits de ¼ h + 16 traits de 3 mn		..... Fin d'été

Tableau 1.1 : Récapitulatif théorique de l'activité réalisée par l'Ifremer au cours d'une année de surveillance type devant le C.N.P.E. de Penly





## 2 Les caractéristiques environnementales

*Philippe Monbet (Ifremer -LER-FBN)*

*Luc Drévès (Ifremer-DOP-LER)*



## 2.1 Climatologie

Les données communiquées par le centre départemental du Calvados de METEO-FRANCE proviennent d'enregistrements réalisés à Dieppe<sup>4</sup> depuis 1960 pour la température de l'air et la pluviométrie, ainsi que depuis janvier 1968 pour l'insolation.

### 2.1.1 Pluviométrie

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenn e
Moy. 1960-1989	65,9	50,4	61,7	49,1	60,0	56,0	59,4	62,4	74,0	87,1	98,7	78,0	<b>66,9</b>
Moy. 1990-2008	61,6	54,1	51,0	60,5	58,1	60,9	60,2	61,5	71,5	86,6	82,5	95,1	<b>67,0</b>
Bilan	<b>-4,3</b>	<b>3,7</b>	<b>-10,7</b>	<b>11,4</b>	<b>-1,9</b>	<b>4,9</b>	<b>0,8</b>	<b>-0,9</b>	<b>-2,5</b>	<b>-0,5</b>	<b>-16,2</b>	<b>17,0</b>	<b>0,1</b>

Tableau 2.1 : Cumuls pluviométriques mensuels moyens (en mm) à Dieppe sur les périodes 1960-1989 et 1990-2008 et bilan mensuel moyen

Les variations saisonnières mensuelles et annuelles de pluviométrie dans le secteur de Penly sont présentées à l'aide du tableau 2.1 et de la figure 2.1. La pluviométrie est généralement maximale d'octobre à décembre. La période la plus sèche s'étend d'avril à juillet avec des précipitations généralement inférieures à 60 mm. Au cours des deux périodes 1960-1989 et 1990-2008, la pluviométrie est restée stable avec une moyenne mensuelle légèrement inférieure à 70 mm. Les écarts les plus importants ont été observés en novembre et décembre avec respectivement un déficit de précipitation de 16,2 mm et un excédent de 17,0 mm. Finalement, c'est le mois d'août 1968, qui a été le plus humide sur la période 1960-2008 avec 251 mm. Le mois d'avril 2007 a été le plus sec avec 1,4 mm.

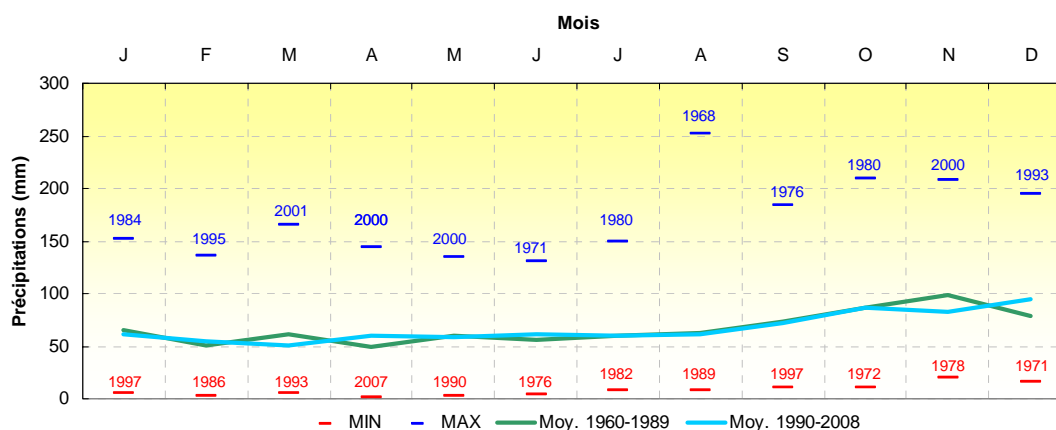
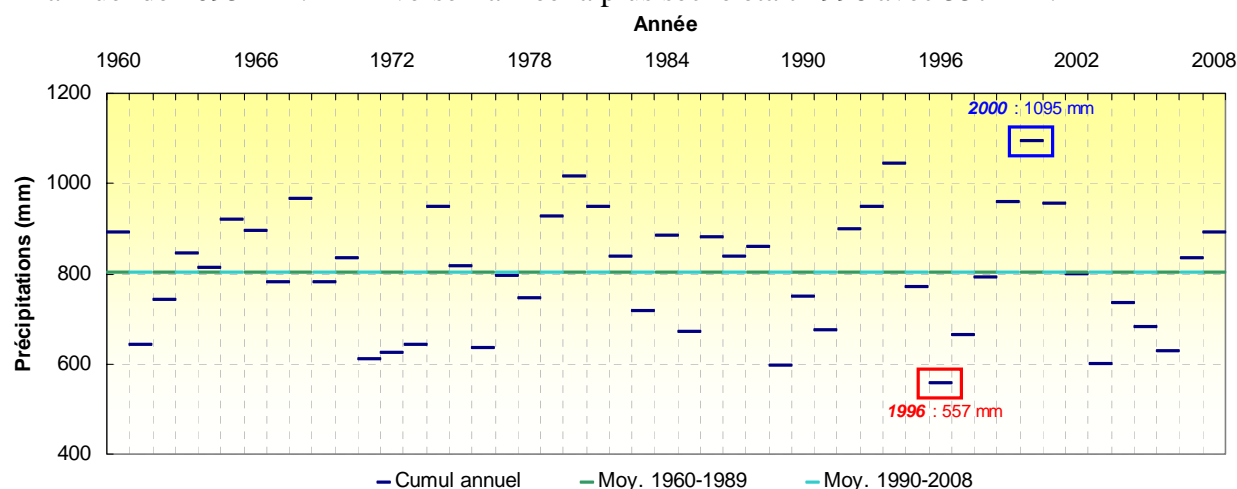


Figure 2.1 : Pluviométrie mensuelle à Dieppe, moyennes et valeurs extrêmes obtenues entre 1960 et 2008

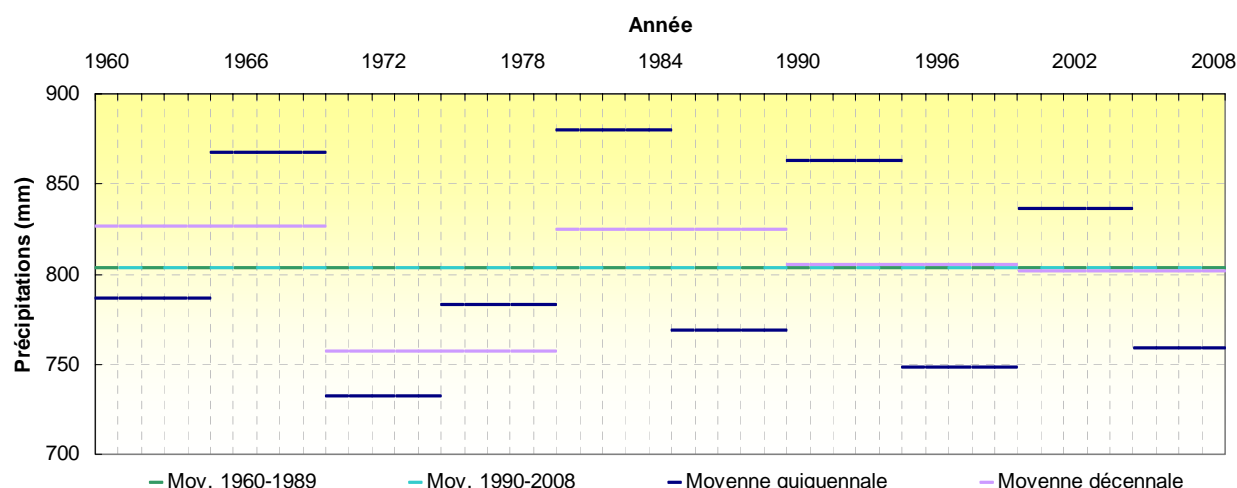
<sup>4</sup> Altitude : 38 m ; latitude : 49° 56'06"N ; longitude : 1°05'42"E

Les cumuls annuels pluviométriques entre 1960 et 2008 sont présentés sur la figure 2.2. Les périodes d’avant et après mise en service de la centrale sont caractérisées par des cumuls de précipitations tout à fait similaire et proche de 800 mm. L’ensemble des années est généralement caractérisé par un cumul pluviométrique compris entre 600 et 1000 mm. Néanmoins, l’année la plus humide a été observée en 2000 avec un cumul pluviométrique annuel de 1095 mm. A l’inverse l’année la plus sèche était 1996 avec 557 mm.



**Figure 2.2 : Cumuls pluviométriques annuels à Dieppe de 1960 à 2008**

Les cumuls quinquennaux et décennaux de pluviométrie sont présentés sur la figure 2.3. Cette figure indique que ces cumuls oscillent autour des valeurs moyennes proches de 800 mm alternant généralement des périodes sèches et humides. Seule la période entre 1970 et 1979 est caractérisée par deux cumuls quinquennaux consécutifs inférieures aux moyennes de 1960-1989 et de 1990-2008. Depuis 1990, les deux derniers cumuls décennaux (805 et 802 mm) sont par ailleurs très proches des valeurs moyennes avant et après mise en service de la centrale.



**Figure 2.3 : Cumuls pluviométriques quinquennaux et décennaux observé à Dieppe de 1960 à 2008**

### 2.1.2 Insolation

La figure 2.4 présente les durées d'insolation à Dieppe depuis 1968. Les variations mensuelles d'insolation sont similaires avant et après la mise en service de la centrale. La durée d'insolation est directement liée à la durée du jour. Ainsi, elle est généralement minimale en décembre et janvier (~ 40-60 heures), et maximale en juillet (>200 heures). La présence ou l'absence de couverture nuageuse peuvent toutefois modifier de façon significative les durées d'insolation. Ainsi pour le même mois, il peut exister d'importantes différences d'insolation. En mai par exemple, l'année 1990 a été caractérisée par la plus forte insolation de la période 1968-2008 avec 315 heures. En 2006, le même mois n'a bénéficié que de 116 heures d'insolation.

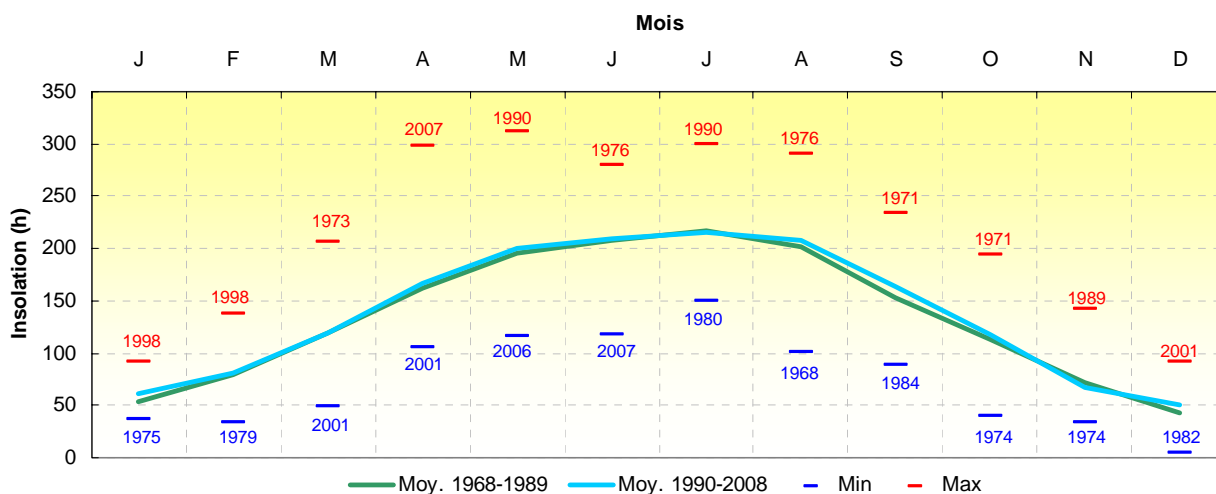


Figure 2.4 : Insolation mensuelle à Dieppe, moyenne et valeurs extrêmes mensuelles obtenues depuis 1968.

Les durées moyennes d'insolation annuelle depuis 1968 sont présentées sur la figure 2.5. Les insolations moyennes sur les périodes 1968-1989 et 1990-2008 sont très proches et respectivement de 1620 et 1659 heures. Les années extrêmes sont 1990 (2035 heures) et 1981 (1293 heures).

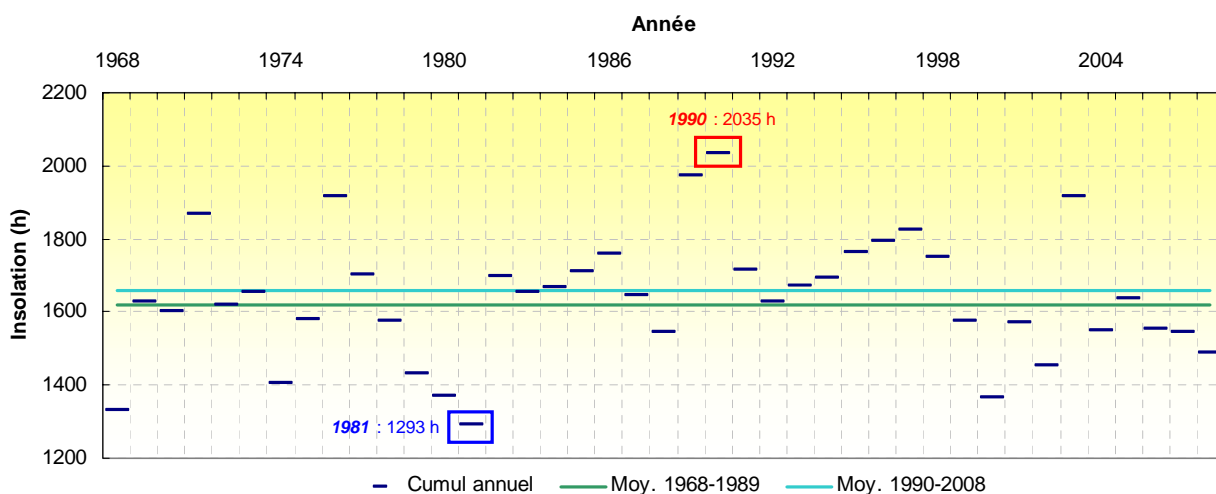


Figure 2.5 : Insolation annuelle à Dieppe depuis 1968, comparée aux moyennes annuelles obtenues avant et après la mise en service de la centrale

### 2.1.3 Température de l'air

Les températures moyennes mensuelles de l'air à Dieppe sont présentées sur la figure 2.6 et dans le tableau 2.2. Les variations des températures moyennes mensuelles sont caractérisées par des températures maximales en été (août) et minimales en hiver (janvier). Les variations saisonnières sont similaires pour les période d'avant et après mise en service de la centrale. Néanmoins, les températures observées au cours de la période 1990-2008 sont systématiquement supérieures à celles d'avant la mise en service de la centrale. Le tableau 2.2 indique que les écarts de température sont alors compris entre 0,3 °C en décembre et 1,5 °C en mars. En moyenne, la période 1990-2008 a été 1 °C plus chaude qu'entre 1960 et 1989. Finalement, les moyennes mensuelles extrêmes ont été enregistrées en janvier 1963 (-2,3 °C) et en juillet 2006 (19,8 °C).

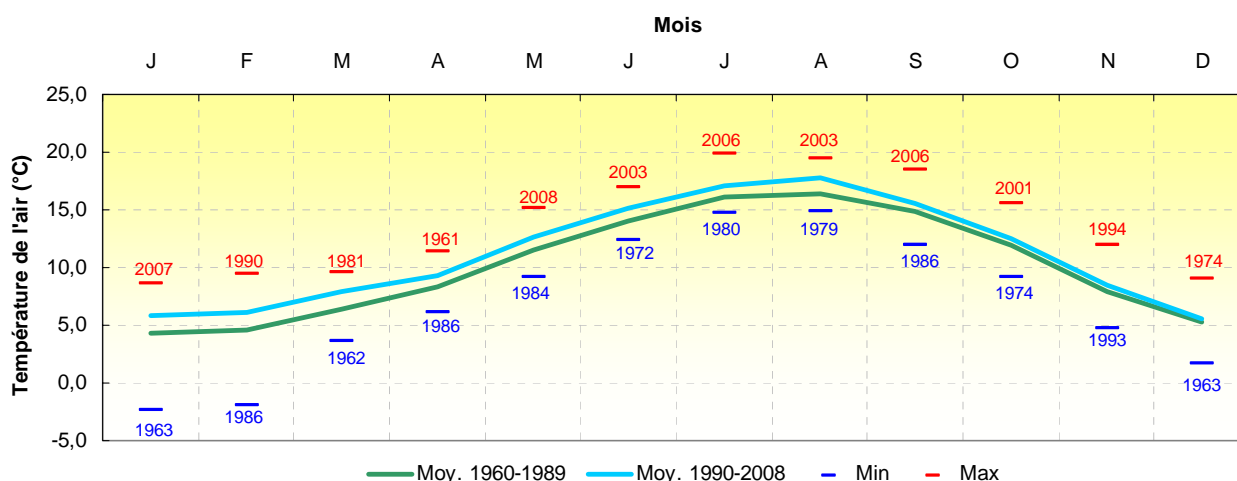
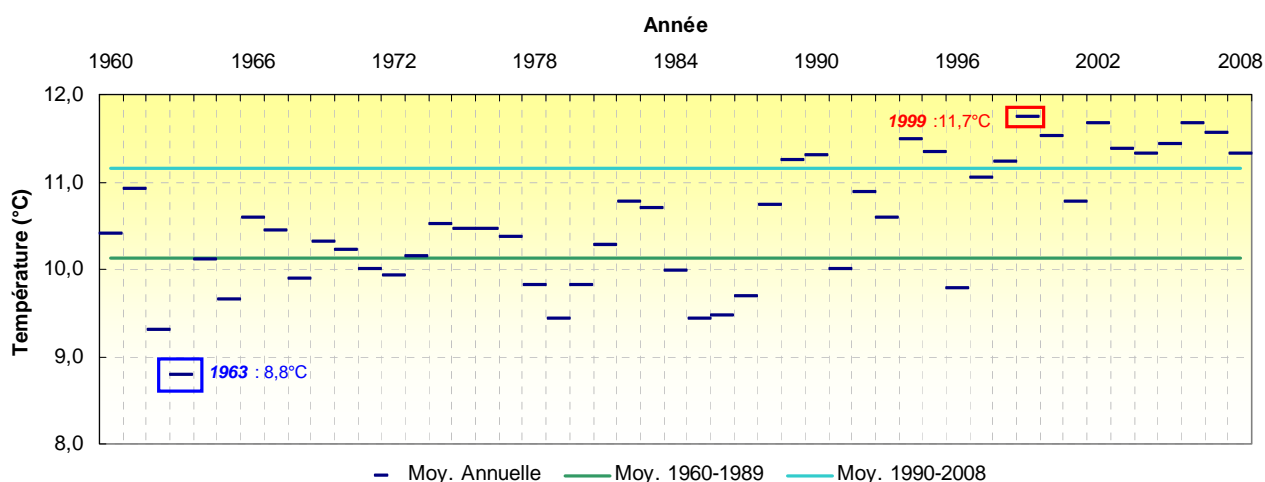


Figure 2.6 : Température mensuelle moyenne de l'air à Dieppe, moyenne et valeurs extrêmes mensuelles enregistrées depuis 1960

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moyenn e
Moy. 1960-1989	4,4	4,6	6,3	8,3	11,5	14,1	16,1	16,3	14,9	12,0	7,9	5,3	10,1
Moy. 1990-2008	5,8	6,1	7,9	9,4	12,6	15,2	17,1	17,7	15,5	12,5	8,5	5,6	11,2
Bilan	1,4	1,5	1,5	1,1	1,2	1,1	1,0	1,4	0,6	0,5	0,7	0,3	1,0

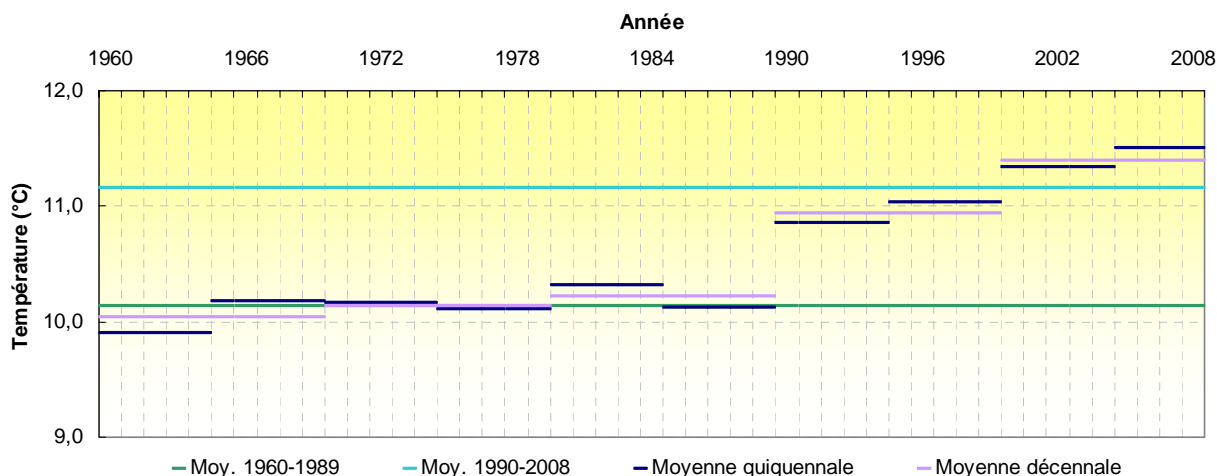
Tableau 2.2 : Températures mensuelles moyennes (en °C) à Dieppe sur les périodes 1960-1989 et 1990-2008 et bilan mensuel moyen

La figure 2.7 présente les températures annuelles moyennes depuis 1960. Ces températures moyennes sont généralement comprises entre 9 et 11°C jusqu'en 1988. Ensuite, les températures moyennes augmentent de façon significative avec 75 % des valeurs supérieures à 11°C. L'année la plus chaude a été 1999 avec une moyenne de 11,7 °C. L'année la plus froide a été 1963 avec 8,8 °C.



**Figure 2.7 : Température annuelle moyenne de l'air à Dieppe, moyenne et valeurs extrêmes mensuelles enregistrées depuis 1960**

Les moyennes de températures calculées sur 5 et 10 ans sont également présentées sur la figure 2.8. Cette figure montre que les températures moyennes sur des périodes de 5 à 10 ans restent relativement stables jusqu'en 1990. Une augmentation de la température est ensuite clairement observée. Sur les périodes quinquennales et décennales après 1990, la température est toujours en augmentation. Sur les deux dernières décennies, les échauffements moyens sont de 0,45 et 0,73 °C. Sur 50 ans, l'échauffement est égal à 1,4 °C.



**Figure 2.8 : Température moyenne de l'air à Dieppe calculée sur 5 ans, 10 ans et sur les périodes 1960-1989 et 1990-2008**

Les périodes quinquennales montrent un échauffement encore plus important avec une augmentation de 1,6 °C de la température moyenne de l'air entre les périodes 1960/1964 et 2000/2008.

L'évolution des températures moyennes saisonnières est présentée sur la figure 2.9. Cette figure indique que les températures ont augmenté de façon similaire quelle que soient les saisons. L'été 2003 (17,60 °C), qualifié de caniculaire, n'arrive qu'en troisième position

après ceux de 2006 (18,58 °C) et 1999 (17,64 °C), sensiblement plus chauds mais moins médiatisés.

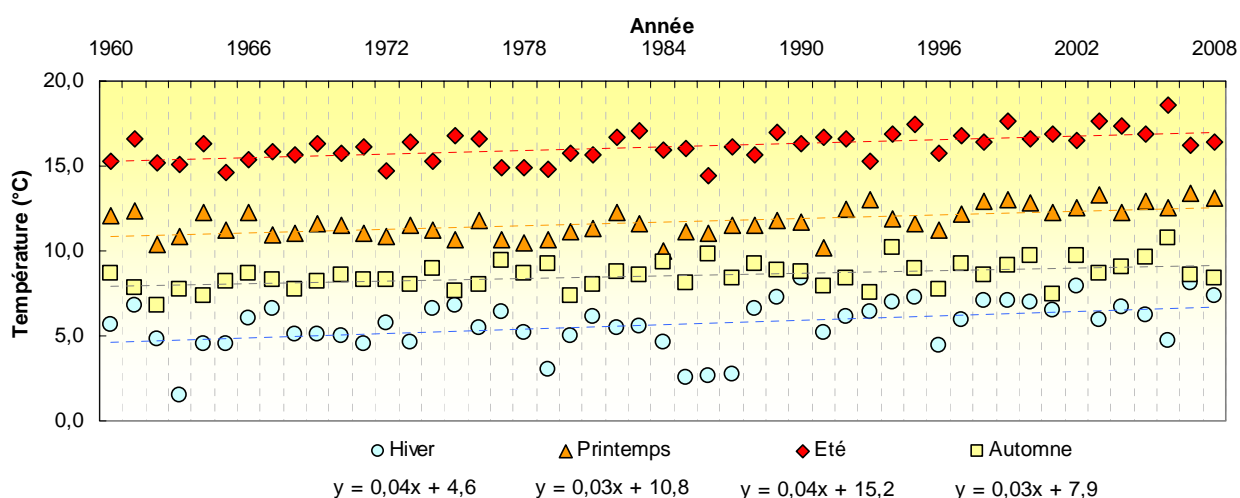


Figure 2.9 : Évolution des températures de l'air à Dieppe par saison depuis 1960 (Hiver=janvier/mars, Printemps=avril/juin, Été=juillet/septembre et automne=octobre/décembre)

Le tableau 2.3 présente les moyennes aux différentes saisons au cours des périodes d'avant et après mise en service de la centrale et sur la période 1960-2008.

	1 <sup>er</sup> trimestre Hiver	2 <sup>ème</sup> trimestre Printemps	3 <sup>ème</sup> trimestre Été	4 <sup>ème</sup> trimestre Automne	Moyenne
Moy. 1960-1989	5,09	11,28	15,77	8,38	11,16
Moy. 1990-2008	6,59	12,39	16,79	8,87	10,13
Moy. 1960-2008	5,67	11,71	16,16	8,57	10,53
Min 1960-2008 (année)	1,5 (1963)	10,0 (1984)	14,4 (1986)	6,8 (1962)	
Max 1960-2008 (année)	8,4 (1990)	13,4 (2007)	18,6 (2006)	10,8 (2006)	

Tableau 2.3 : Moyennes saisonnières et annuelles des températures de l'air à Dieppe depuis 1960

Les températures moyennes saisonnières sont systématiquement plus élevées après 1990. Les écarts de température entre la période d'avant et après mise en service de la centrale sont compris entre 0,5 °C en automne et 1,5 °C en hiver. Les températures minimales ont été enregistrées en hiver 1963, printemps 1984, été 1986 et automne 1962. Les températures maximales ont été enregistrées en hiver 1990, printemps 2007, été 2003 et automne 2008.



## 2.2 Température de l'eau de mer

Le tableau 2.4 présente les températures moyennes de l'eau relevées dans le secteur de Penly dans le cadre des études d'avant-projet, de projet et de surveillance.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>1977-1989</b>	4,84	4,67	7,24	9,07	10,79	13,60	17,15	17,90	18,09	16,47	13,72	9,60
<b>1990-2008</b>	7,19	6,85	7,78	9,80	12,71	15,85	18,15	19,39	17,88	14,89	11,48	8,60

Tableau 2.4 : Températures moyennes mensuelles de l'eau de mer à Penly entre 1977 et 2008

Les variations saisonnières sur les deux périodes présentent une augmentation de la température en été avec un maximum atteint aux mois d'août et septembre. Les températures minimales sont observées en hiver en janvier pour la période 1977-1989 et en février pour la période 1990-2008. Les températures moyennes mensuelles de la période 1990-2008 sont systématiquement supérieures à celles d'avant 1990 jusqu'en août. De septembre à décembre, la période 1977-1989 est caractérisée par des températures moyennes mensuelles plus douces.

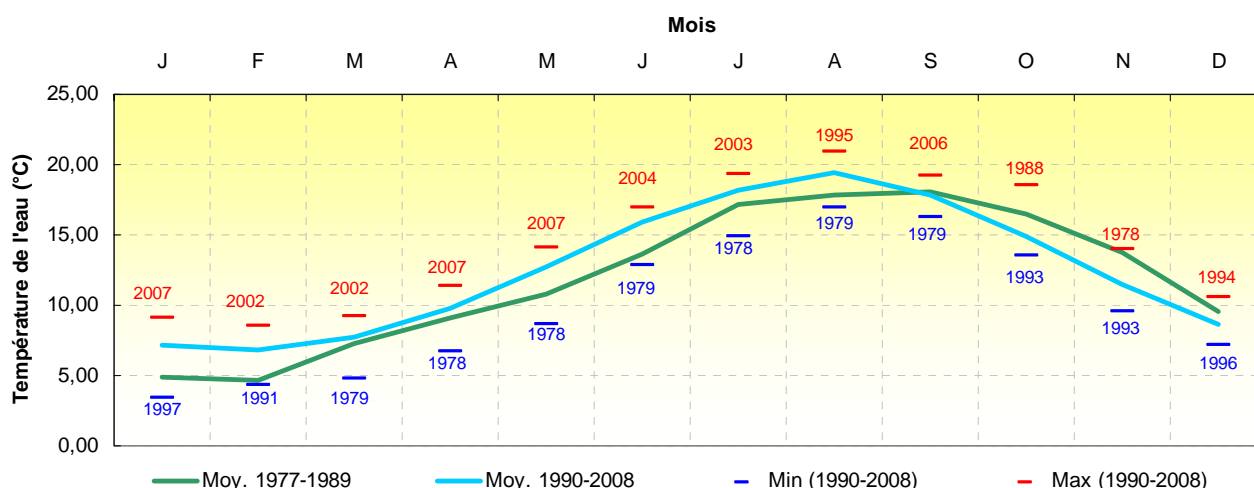
Peu d'études ont été réalisées sur la variabilité spatio-temporelle de la température en Manche et en particulier dans le secteur de la Manche orientale. Une compilation de données hydrographiques a toutefois été réalisée par Lumby (1935) dans un secteur allant proche du site de Penly (50°N 00' à 50°N 07' / 0°E 15' à 0°E 34' - cf. secteur 39, Lumby 1935). Cette étude renseigne sur les variations saisonnières de température sur la période 1903-1927 (tableau 2.5).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>T °C</b>	8,00	6,60	7,77	8,52	10,06	13,03	15,00	16,45	15,54	13,38	12,63	11,50

Tableau 2.5 : Températures moyennes mensuelles de l'eau de mer dans le secteur de Penly entre 1903 et 1927 (Lumby, 1935, zone 39, n=61)

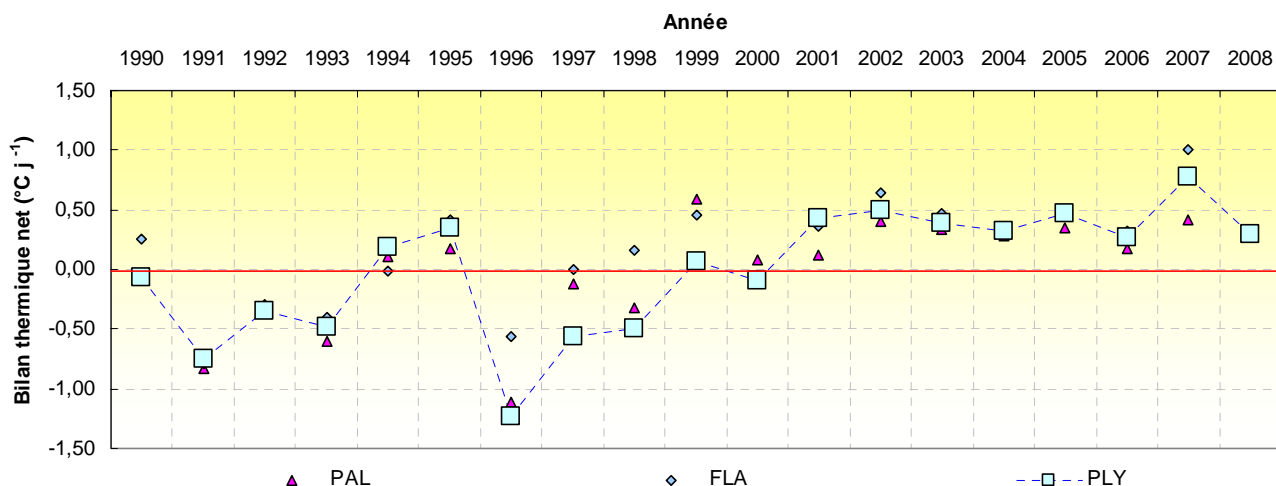
Les variations saisonnières sur la période 1903-1927 sont caractérisées par une augmentation classique de la température de la colonne d'eau pendant l'été. Un maximum est atteint au mois d'août avec 16,45 °C. Le minimum de température sur cette période est enregistré en février avec 6,60 °C. Les températures moyennes hivernales sur la période 1903-1927 sont proches de celles observées entre 1990 et 2008. En revanche, elles sont nettement inférieures en été par rapport à celles enregistrées de 1977 à 1989 et de 1990 à 2008.

Les variations saisonnières des températures mensuelles moyennes ainsi que les températures extrêmes sont présentées sur la figure 2.10. Le cycle de température est caractérisé par un maximum estival et un minimum hivernal en janvier/septembre pour les années 1970-1989 et en février/août pour la période 1990-2008. Cette dernière période présente des températures moyennes mensuelles plus élevées toute l'année par rapport à 1977-1989, excepté en automne.



**Figure 2.10 : Évolution de la température moyenne mensuelle de l'eau de mer dans le secteur de Penly et valeurs extrêmes mensuelles enregistrées de 1977 à 2008**

Sur la figure 2.11 est représenté le bilan thermique net par années par rapport à la température moyenne établie sur la période 1990-2008. Ces écarts, moyennés sur l'année, permettent d'apprécier le déficit ou le bénéfice thermique (exprimé en  $^{\circ}\text{C j}^{-1}$ ) d'une année par rapport à une autre. Les valeurs oscillent entre  $-1,23\text{ }^{\circ}\text{C j}^{-1}$  et  $+0,78\text{ }^{\circ}\text{C j}^{-1}$ . Jusqu'en 2000, les années présentent généralement un bilan thermique net négatif. A partir de 2001, le bilan thermique net est systématiquement positif. Les centrales de Paluel et Flamanville présentent une évolution de leurs bilans thermiques similaire à celle de Penly.



**Figure 2.11 : Bilan thermique net ( $^{\circ}\text{C j}^{-1}$ ) de la température de l'eau de mer par rapport à la période 1990-2008 aux différentes centrales Penly, Paluel et Flamanville**

Le détail des écarts journaliers à la moyenne de la température de l'eau établie sur la période 1990-2008 est présenté sur la figure 2.12 pour les trois centrales Penly, Paluel et Flamanville. Cette figure montre la dominance des écarts positifs au cours des dernières années. L'amplitude des écarts est similaire pour les centrales de Penly et Paluel. Par contre, cette amplitude est plus réduite pour Flamanville.

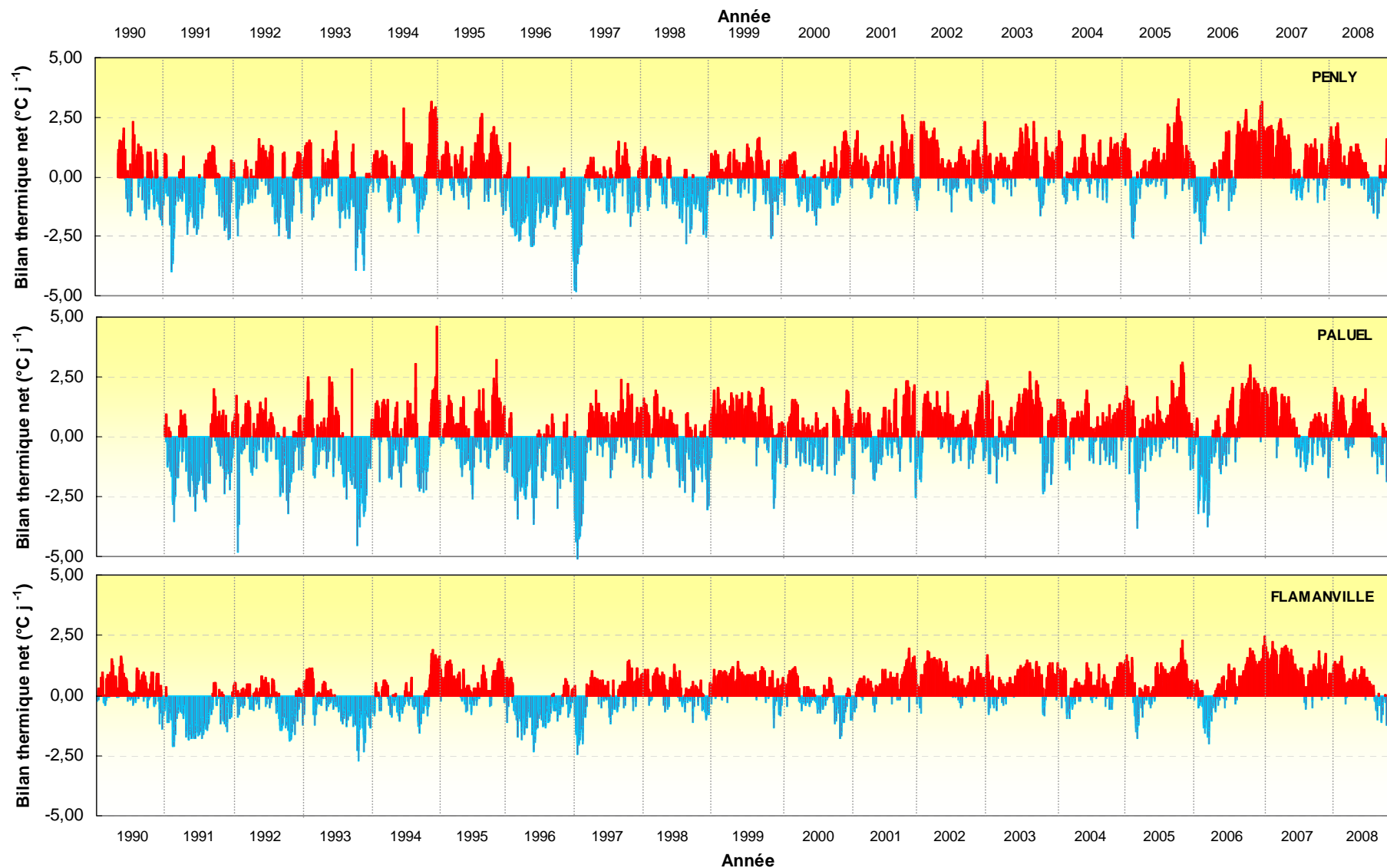


Figure 2.12 : Anomalies de la température de l'eau de mer. Écart journalier en  $^{\circ}\text{C}$ , à la moyenne quotidienne (moyenne du jour estimée sur la période 1990-2008)

L'évolution annuelle de la température quotidienne moyenne aux trois centrales est présentée sur la figure 2.13. A titre illustratif, le positionnement géographique des trois centrales est aussi illustré sur la figure 2.14.

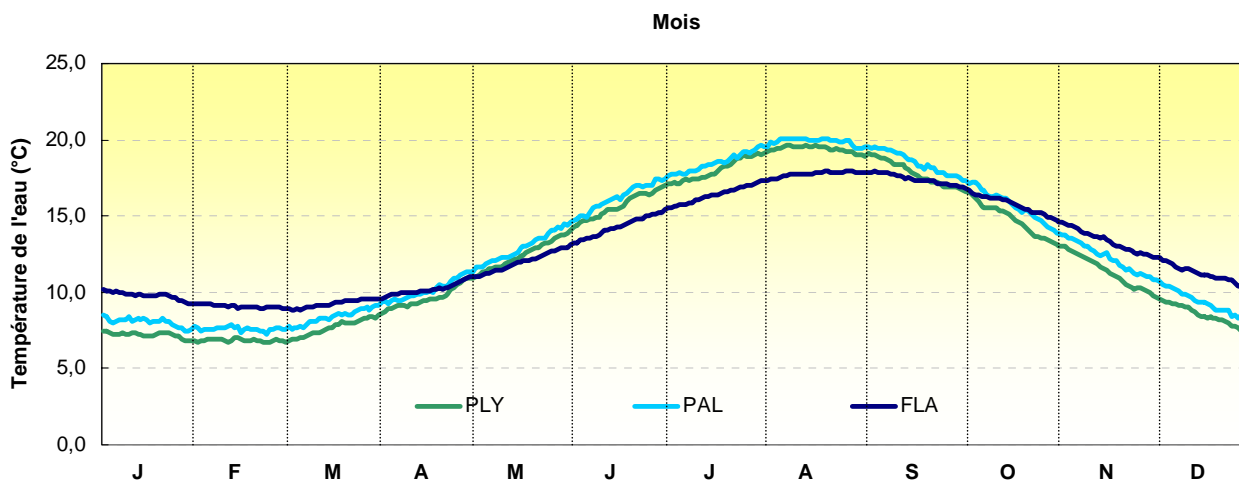


Figure 2.13 : Comparaison des températures moyennes journalières de l'eau de mer à Penly (PLY), Paluel (PAL) et Flamanville (FLA) de 1990 à 2008

La température de l'eau de mer observée à Penly suit les mêmes variations qu'à Paluel, mais elle est systématiquement inférieure. En revanche, la température à Flamanville présente des variations saisonnières différentes.

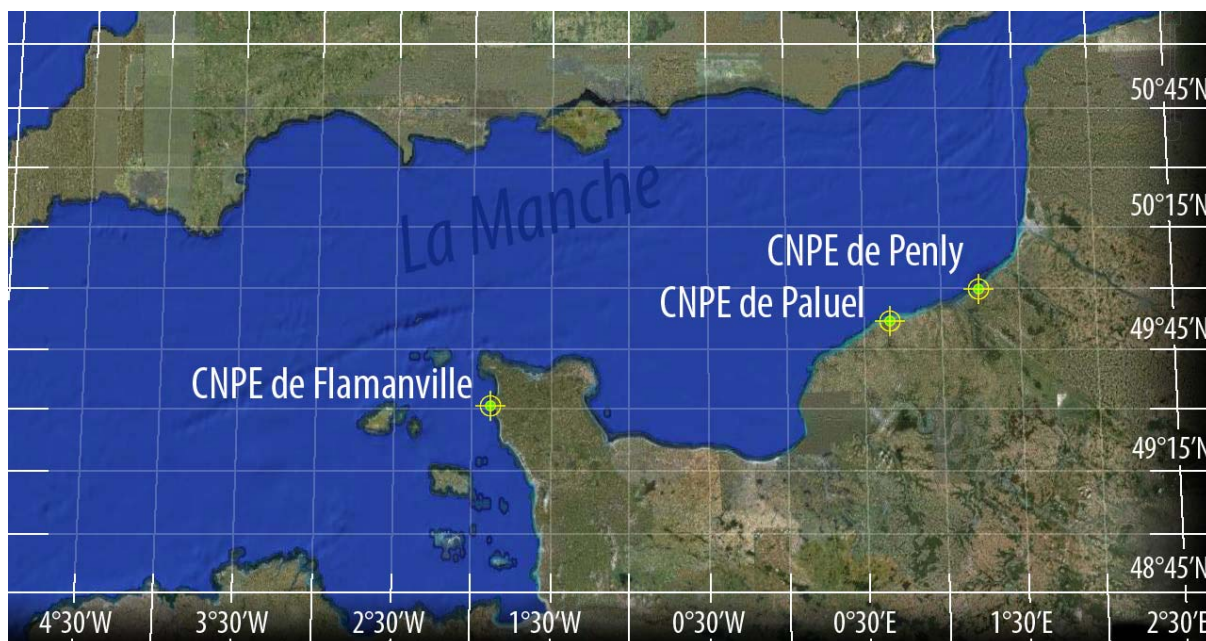


Figure 2.14 : Positionnement géographique des différentes centrales nucléaires (Penly, Paluel et Flamanville) pour la production d'électricité situées en Manche

Les températures hivernales à Flamanville sont plus douces et les températures estivales plus froides. Le minimum hivernal moyen est ainsi de 8,85 °C à Flamanville, alors qu'il est

de 7,28 °C à Paluel et 6,70 °C à Penly. Le maximum estival moyen est aussi respectivement de 17,97 °C, 20,09 °C et 19,64 °C pour Flamanville, Paluel et Penly. L'écart thermique est ainsi plus faible à Flamanville avec 9.13 °C contre 12.94 °C et 12.82 °C à Paluel et Penly respectivement. Ceci illustre le caractère plus océanique de Flamanville par rapport au caractère plus continental des deux autres sites.

L'évolution au cours de la période 1990-2008 des moyennes mensuelles des températures de l'air à Dieppe et de l'eau de mer à Penly est présentée sur la figure 2.15. Cette figure illustre le lien étroit entre ces deux paramètres. Les variations annuelles de température de l'eau suivent celles de l'air avec un léger décalage dû à l'inertie de la masse d'eau. Au cours de cette période, la température moyenne mensuelle est de 12,58 °C pour l'eau de mer, et de 11,16 °C pour l'air. La comparaison de ces températures, soit par moyenne mobile calculée sur les 12 derniers mois, soit par période quinquennale, montre la similitude des échauffements observés tant dans l'eau que dans l'air sur le long terme dans ce secteur de la Seine Maritime.

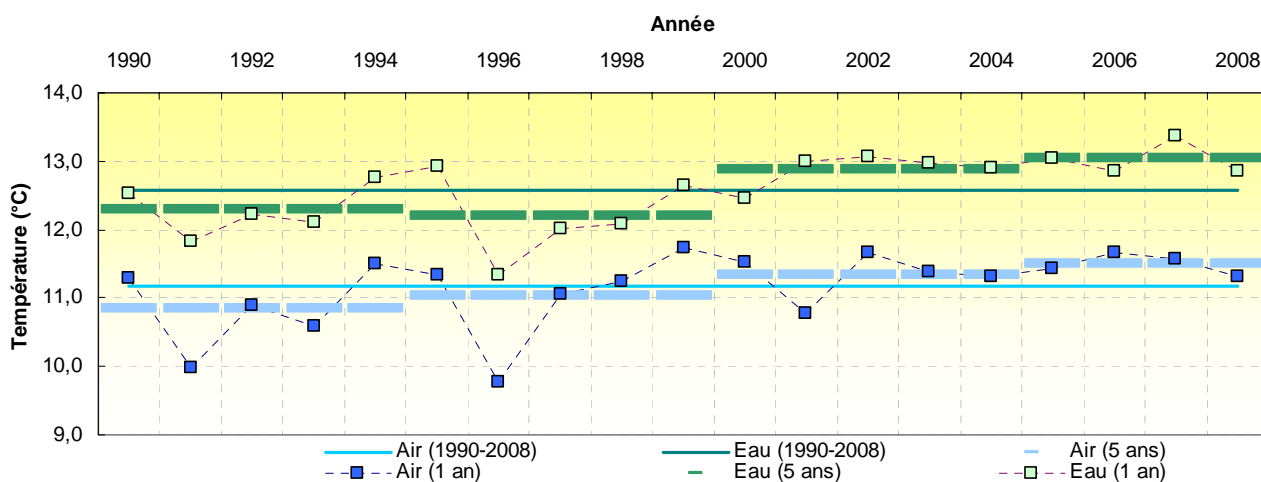


Figure 2.15 : Comparaison des valeurs mensuelles de températures de l'air (Dieppe) et de l'eau de mer (Dieppe) de 1990 à 2008

Une corrélation significative existe entre ces deux paramètres (figure 2.16). L'échauffement plus lent de l'eau de mer de janvier à juillet est caractérisé par les points situés majoritairement sous la droite de régression.

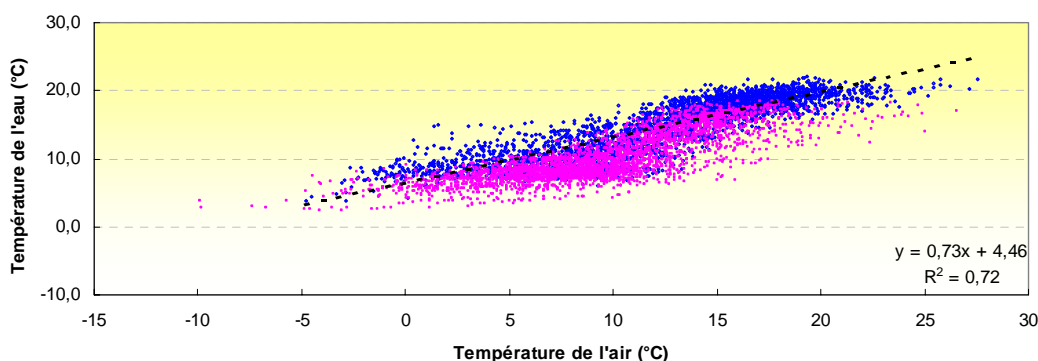


Figure 2.16 : Température quotidienne de l'eau de mer en fonction de celle de l'air à Dieppe (n=6575) avec en rose les températures de janvier à juin et en bleu les températures de juillet à décembre



### 3 Le domaine pélagique

*Philippe Monbet (Ifremer-LER-FBN)*

*Pascal Claquin (UCBN)*

*Elvire Antajan (Ifremer-LER-BL)*

*Compartiment hydrologique*

*Compartiment phytoplanctonique*

*Compartiment zooplanctonique*





## 3.1 Compartiment hydrologique

### 3.1.1 Introduction

Dans le cadre de l'implantation de la centrale électronucléaire de Penly, le compartiment pélagique a fait l'objet de différentes études scientifiques : **étude d'avant-projet** (mars - août 1977), **étude de projet** (1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> cycles, Février 1978 - Janvier 1980) et **études de surveillance** (depuis 1987). Les objectifs de ces études étaient dans un premier temps de fournir à Electricité de France les contraintes d'ordre « écologique » intervenant au niveau du choix du site (étude d'avant-projet). Il s'agissait aussi de définir un état de référence avant l'implantation de la centrale (études de projet) ainsi que de permettre l'évaluation des fluctuations naturelles des principaux paramètres physico-chimiques du compartiment pélagique afin de détecter une éventuelle incidence du fonctionnement de la centrale sur le milieu marin (étude de surveillance). Les stations échantillonnées au cours de ces études sont présentées sur la figure 3.1.1 ci-dessous.

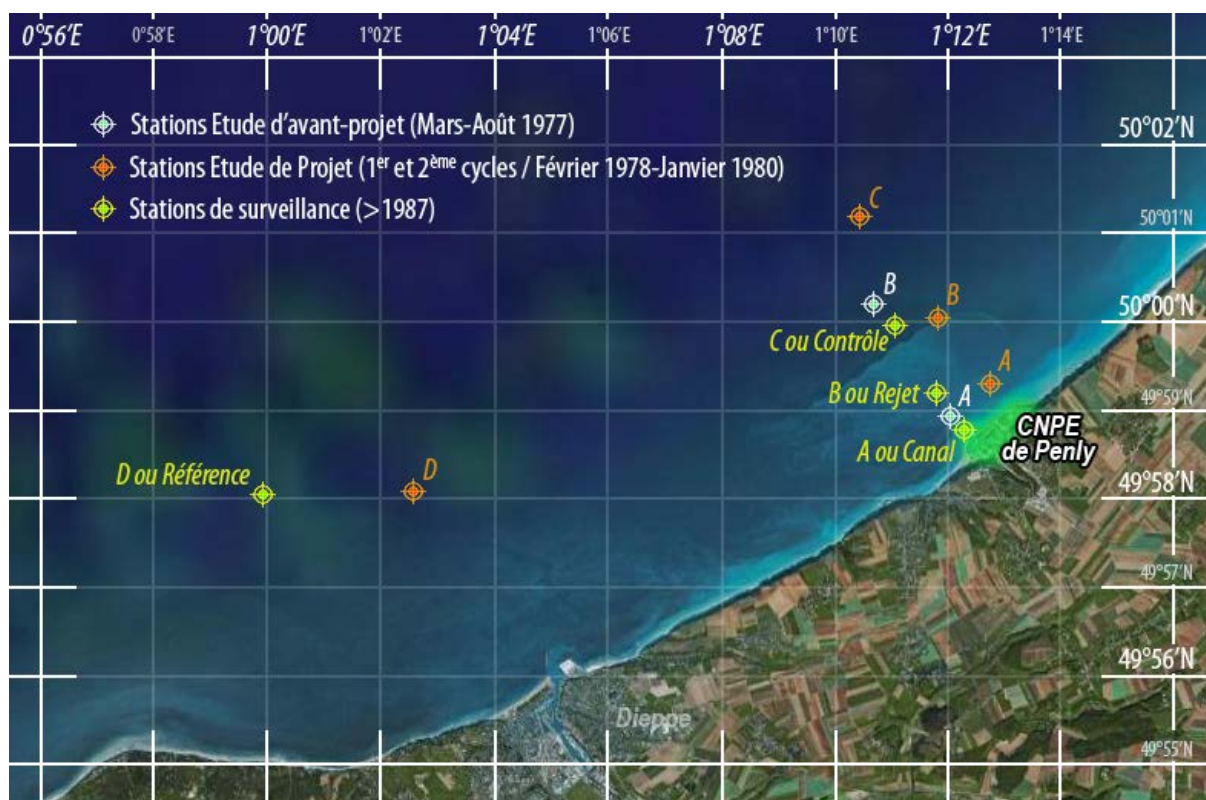


Figure 3.1.1 : Positionnement des points d'échantillonnage suivis entre 1977 et 2008

L'objet de ce chapitre est (1) de présenter une vue de l'ensemble des données acquises avant et après la mise en service de la centrale électronucléaire de Penly, (2) d'analyser les variations des paramètres physico-chimiques sur ces deux périodes et (3) de conclure quant à une éventuelle influence de la centrale sur ces variations.

### 3.1.2 Méthodologie et présentation

Les principaux paramètres physico-chimiques suivis dans le cadre des études sur le site de Penly sont la température, la salinité, les nutriments (ammonium, nitrate+nitrite, phosphate, silicate), les matières en suspensions et les trihalométhanes. Les fréquences d'échantillonnage ont été variables en fonction des études. Il s'agissait généralement de fréquences mensuelles pour les études d'avant-projet et de projet. La fréquence a ensuite été réduite à trois campagnes par an, centrées sur des périodes caractéristiques de l'année et représentatives sur un plan biogéochimiques : printemps (développements phytoplanctoniques printaniers), été (épuisement des nutriments) et automne (régénération des nutriments et l'apparition des possibles efflorescences automnales).

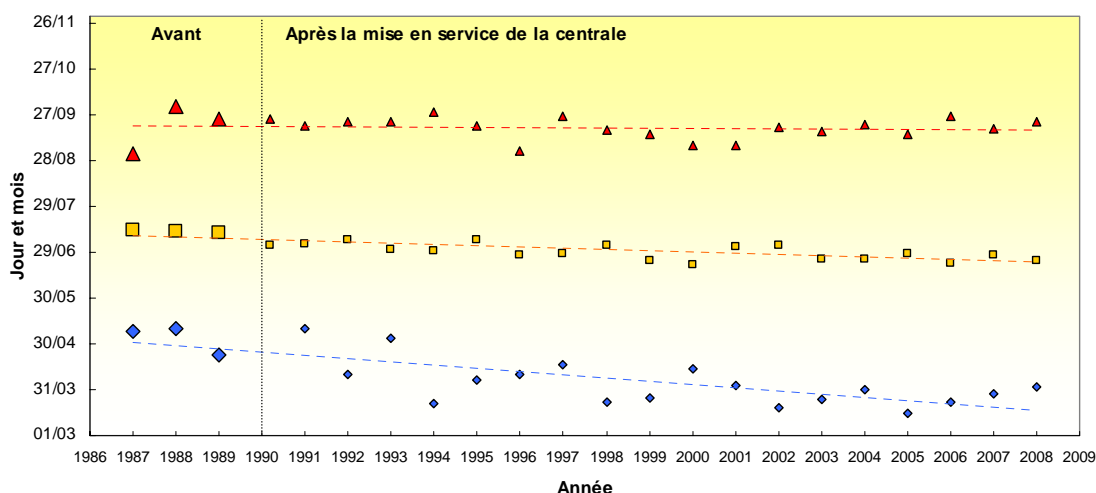
**Dans ce chapitre, les données acquises au cours des campagnes hydrologiques de surveillance sont en général présentées sous forme de courbes et/ou de boîtes à moustaches. L'utilisation de la médiane a notamment été préférée à la moyenne, car elle permet de minimiser l'influence des valeurs extrêmes. Pour la série de valeurs obtenues après la mise en fonctionnement de la centrale, les valeurs sont toujours regroupées par saison (printemps, été et automne).**

Comme l'illustre la figure 1, les positions des stations d'échantillonnage ont variées au cours des années d'études avant et après la mise en service de la centrale. Le tableau 1 indique les stations qui ont été utilisées et comparées entre elles pour les deux périodes avant et après la mise en service de la centrale.

Période	Côte	Large	Référence
1977 - 1989	A (avant-projet et projet)	B (avant-projet et projet)	D projet
1990 - 2008	A-canal	C-contrôle	D-référence

**Tableau 1 : Points d'échantillonnage qui ont servi aux comparaisons des valeurs avant et après la mise en service de la centrale**

L'évolution des dates de campagnes sur la période de surveillance est présentée sur la figure 3.1.2.



**Figure 3.1.2 : Évolution des dates de campagnes de surveillance de 1987 à 2008 au printemps (◆), été (■) et automne (▲)**

## Synthèse hydrobiologique du site du C.N.P.E. de Penly

### Chapitre 3 – Le domaine pélagique

Cette figure indique que les campagnes sont généralement réalisées plus tôt au fur et à mesure des années et en particulier au printemps.

Afin d'analyser et d'interpréter les tendances observées sur la période 1990-2008 de fonctionnement de la centrale, les données du réseau de surveillance REPHY (REseaux de surveillance PHYtoplanktonique) ont été utilisées. Ce réseau de surveillance, géré par l'IFREMER depuis 1984, possède des stations proches de la centrale de Penly (Fig. 3.1.3).

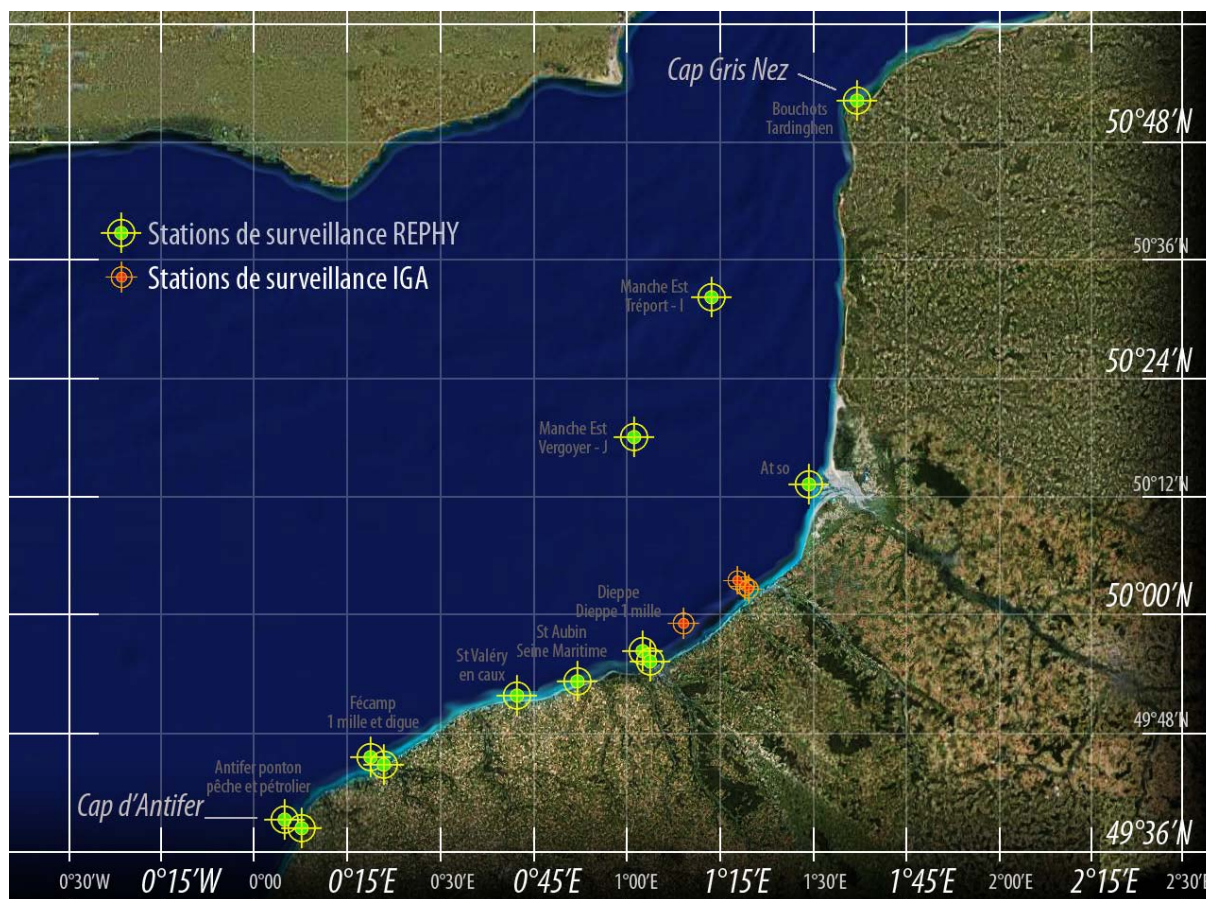


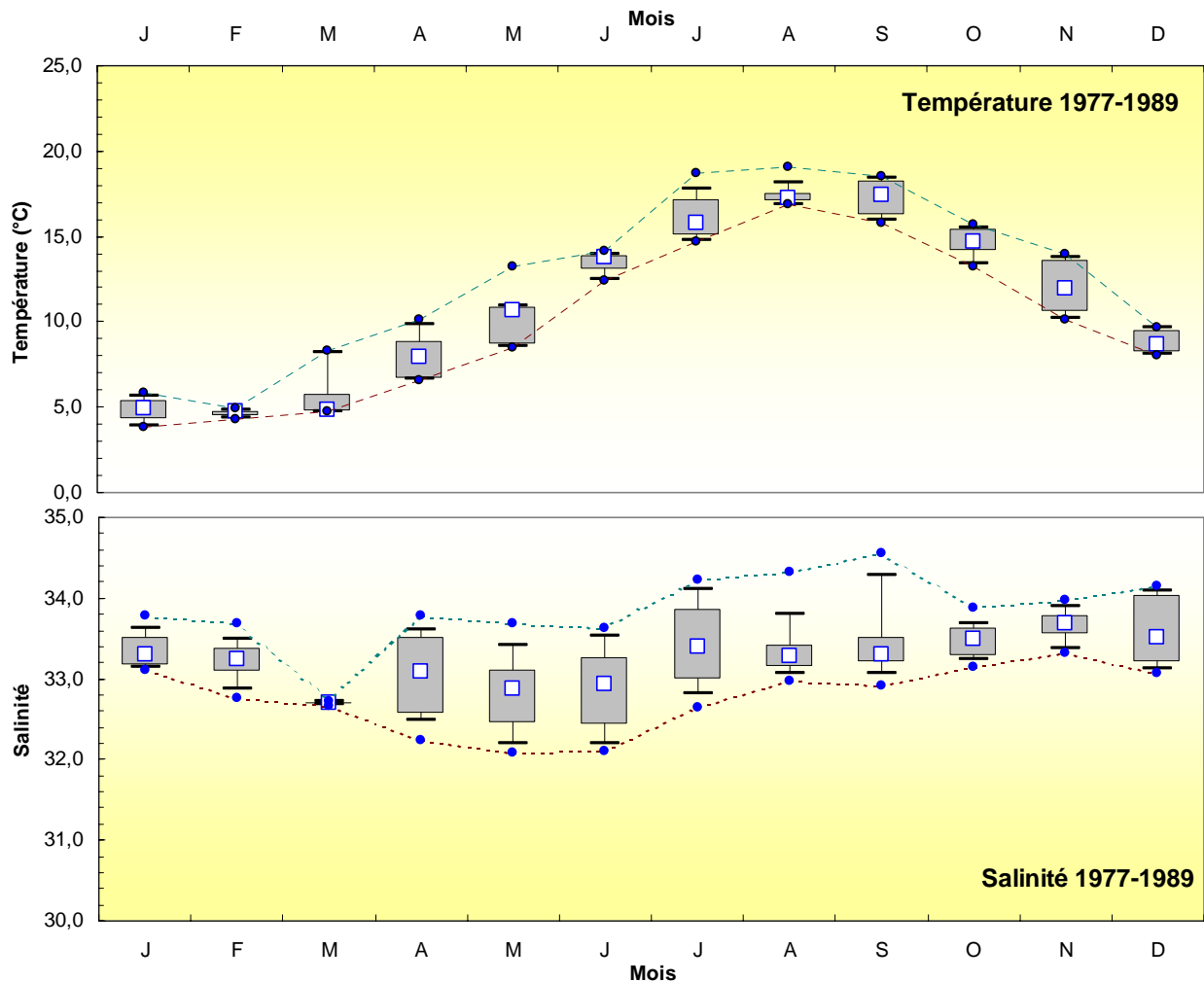
Figure 3.1.3 : Positionnement des points d'échantillonnage du REPHY entre le cap d'Antifer et le cap Gris Nez

Les données peuvent donc être utilisées dans un contexte de comparaison locale et régionale. En outre, les tendances observées sur la période 1990-2008 à Penly ont également été comparées aux résultats des campagnes de surveillance des centrales de Paluel et Flamanville. Les comparaisons portent alors sur les radiales *canal-contrôle* à Penly et *canal-référence* à Paluel et à Flamanville.

### 3.1.3 Température et salinité

#### 3.1.3.1 Température et salinité avant la mise en service de la centrale (1977-1989)

La figure 3.1.4 présente l'évolution saisonnière de la température et de la salinité de l'eau de mer au niveau secteur côtier de Penly entre 1977 et 1989.



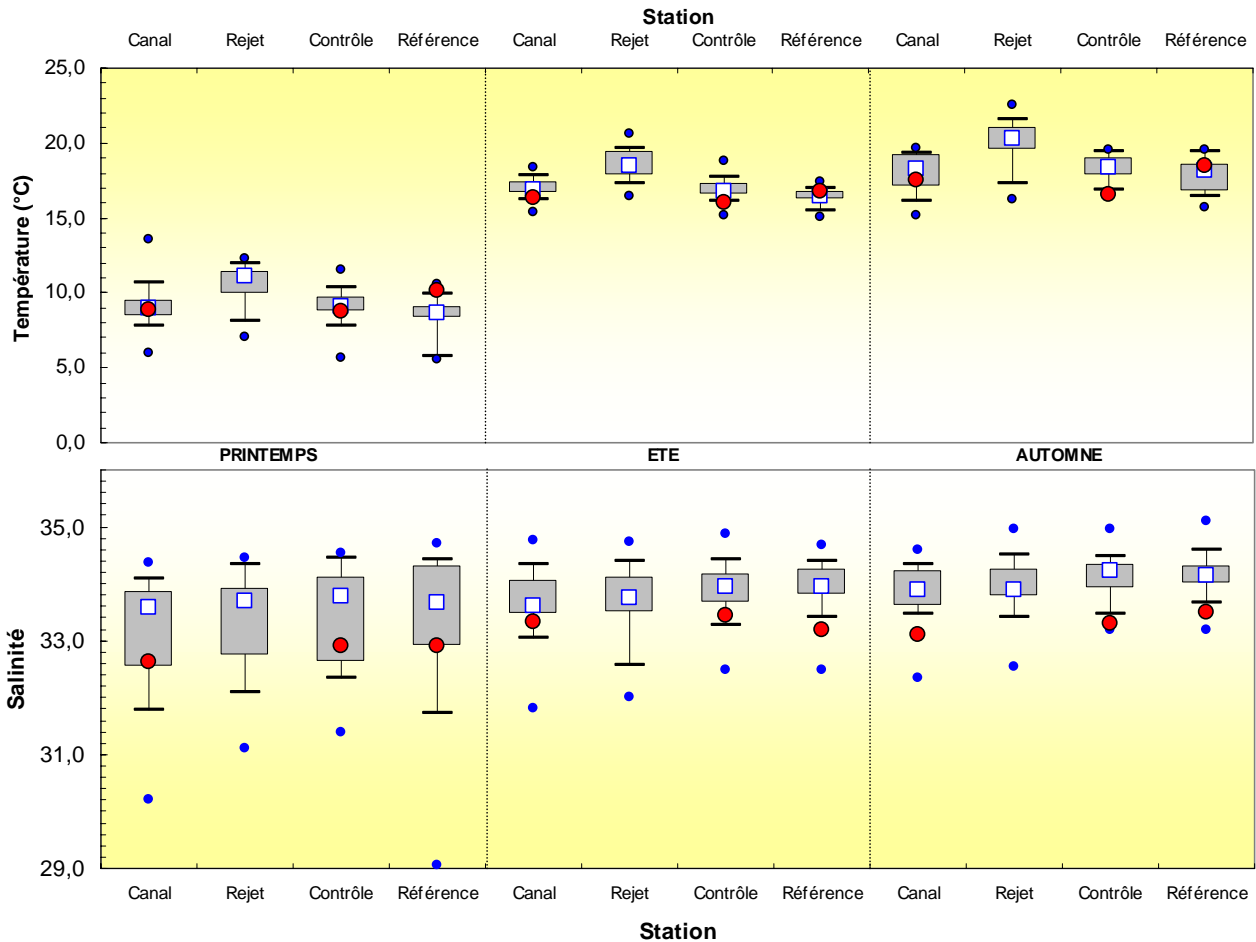
**Figure 3.1.4 : Distribution de la température et de la salinité de l'eau de mer sur l'ensemble des stations d'études au cours de la période 1977-1989. Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (□) ; les moustaches 80 % des valeurs (┆). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (●)**

L'évolution annuelle de la température présente une allure sinusoïdale caractéristique des mers tempérées, avec un maximum observé en été et un minimum en hiver. La variabilité mensuelle est assez constante au long de l'année avec un écart thermique de l'ordre de 3°C.

Les variations saisonnières de la salinité sont relativement faibles et les salinités médianes sont comprises entre 32 et 34 tout au long de l'année. Elles sont plus faibles en fin d'hiver et au printemps. La variabilité mensuelle est importante, avec des écarts entre les valeurs minimales et maximales qui peuvent atteindre 1,6.

### 3.1.3.2 Température et salinité après la mise en service de la centrale (1990-2008)

La figure 3.1.5 présente la distribution de la température et de la salinité de l'eau de mer au niveau des stations de surveillance (*Canal, Rejet, Contrôle et Référence*) au printemps, en été et en automne sur la période 1990-2008. Cette figure situe également à l'aide des points rouges (●) les valeurs médianes des températures et des salinités observées entre 1977 et 1989 aux différentes stations.



**Figure 3.1.5 : Distribution de la température et de la salinité de l'eau de mer par station entre 1990-2008. Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (□) ; les moustaches 80 % des valeurs (┘). Les points extrêmes présentent les valeurs maximales et minimales (●). Les points rouges (●) représentent les valeurs médianes de température et de salinité observées entre 1977 et 1989 aux différentes stations**

Sur la période 1990-2008, la distribution de la température présente une augmentation régulière et classique de la température de l'eau de mer du printemps vers l'automne (Fig. 4). En raison de l'activité de la centrale, les températures du point rejet sont systématiquement supérieures à celles des points *canal* et *référence*. Au printemps et en automne, la dispersion des températures est aussi plus importante qu'en été à toutes les stations. Ceci s'explique par une vitesse de réchauffement ou un refroidissement plus important de l'eau de mer au cours du printemps et de l'automne comparé à l'été.

Les températures médianes aux stations *canal* et *contrôle* sont systématiquement plus élevée aux différentes périodes de l'année en 1990-2008 par rapport à 1977-1989 avec des écarts

thermiques respectifs de  $0,5 \pm 0,4$  °C et de  $0,9 \pm 0,7$ °C en moyenne. A l'inverse au point *référence*, les températures médianes sont plus faibles aux différentes saisons sur la période 1990-2008 que sur 1977-1989. L'écart thermique entre ces deux périodes est alors de  $0,7 \pm 0,7$ °C.

La distribution de la salinité au cours de la période 1990-2000 présente peu de variations aux différentes périodes de l'année. Cependant, quelle que soit la saison, il existe un gradient croissant côte-large (*canal – rejet – contrôle*) avec des salinités à la station *référence* similaire à celles de la station *contrôle*. Au printemps, l'écart important des valeurs minimales et maximales et la forte dispersion des boîtes contenant 50 % des valeurs pourraient être liés à la forte variabilité inter-annuelle des précipitations printanières.

Les salinités médianes calculées sur la période d'avant mise en service (1977-1989) sont systématiquement inférieures à celles d'après mise en service. Les écarts moyens sont de  $0,67 \pm 0,35$  à la station *canal*,  $0,76 \pm 0,22$  à la station *contrôle* et de  $0,71 \pm 0,07$  à la station *référence*.

### 3.1.3.3 Evolution de la température et de la salinité depuis le début de la surveillance

La figure 3.1.6 présente l'évolution de la température et de la salinité au point *référence* de 1987 à 2008.

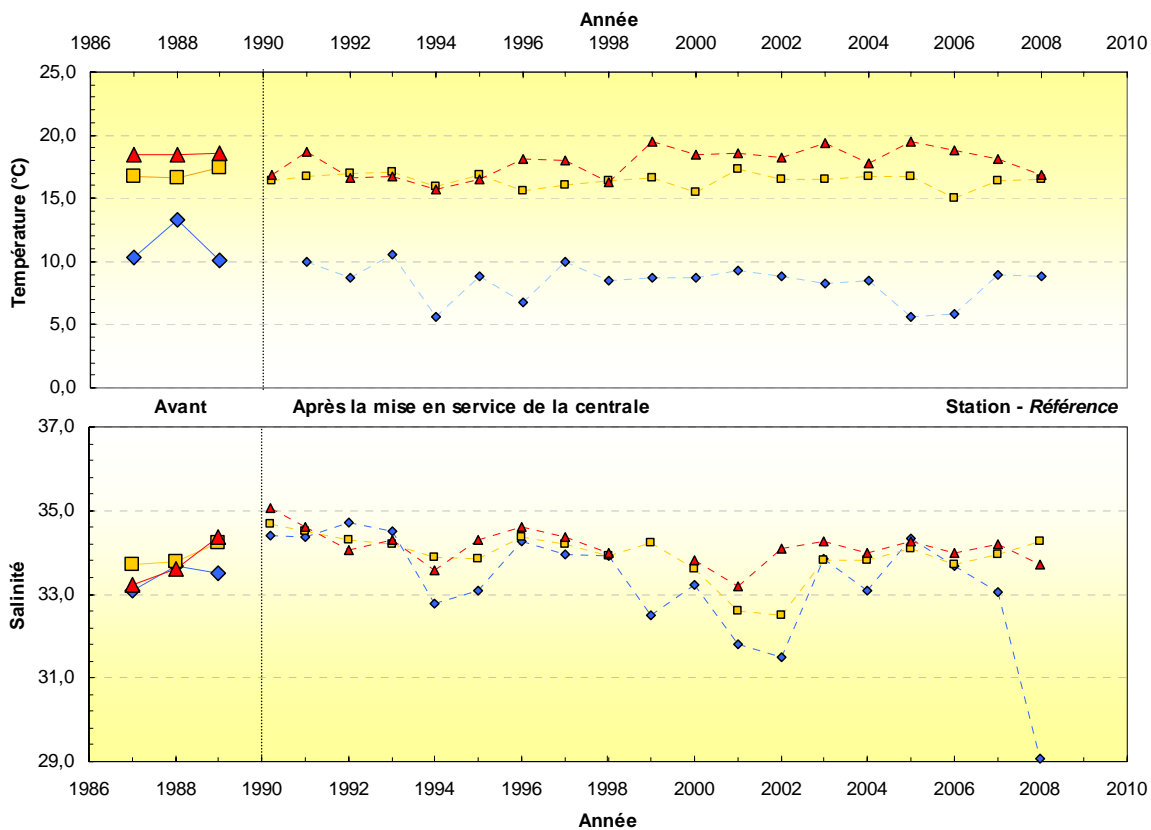
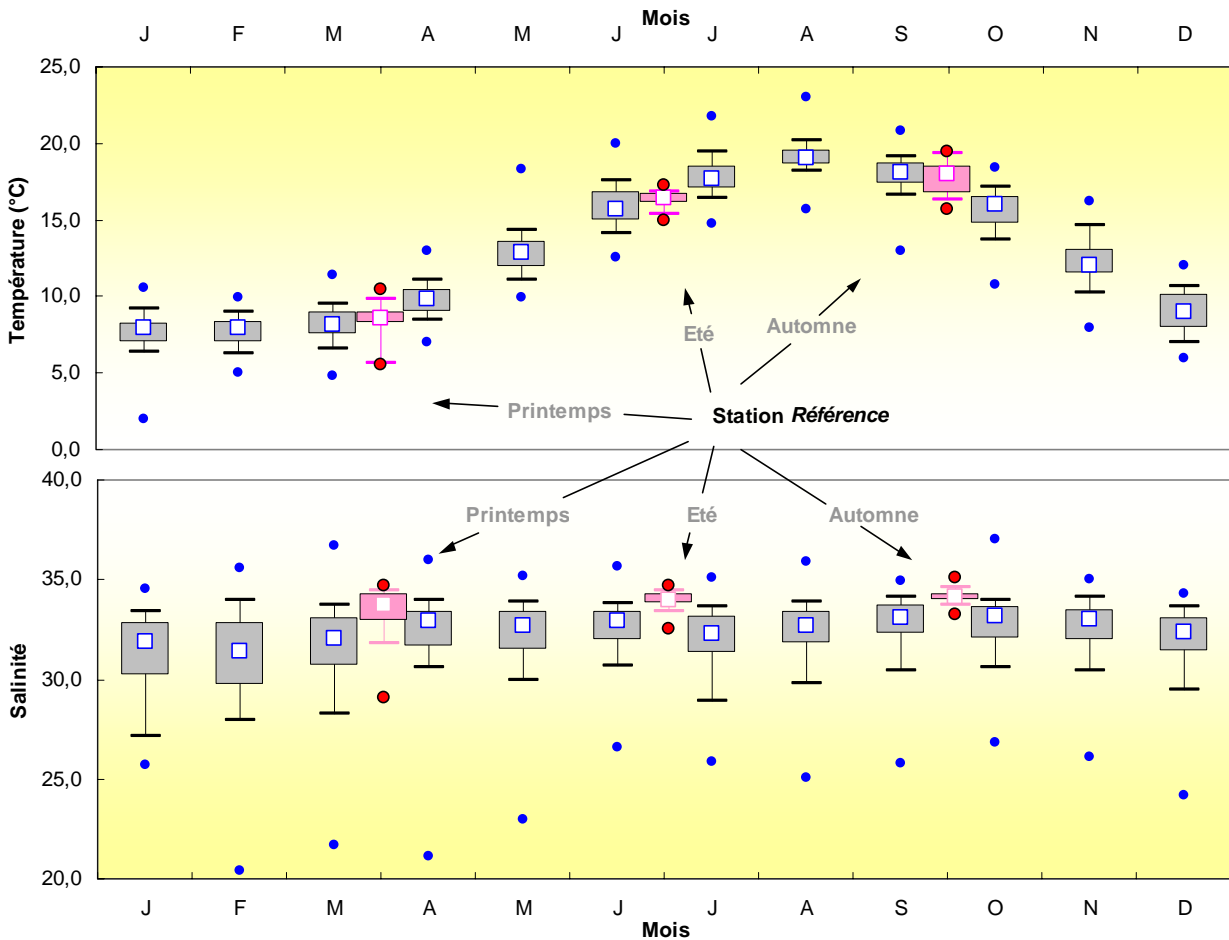


Figure 3.1.6 : Évolution de la température et de la salinité au point *référence* lors des campagnes de printemps (◆), été (■) et automne (▲) entre 1987-2008

En été et en automne, la température et la salinité de l'eau se situent généralement dans la même gamme de valeur avant et après la mise en service de la centrale.

### 3.1.3.4 Contexte local, régional ou global

L'évolution de la température mesurée dans le cadre du REPHY dans le secteur proche de la centrale de Penly est présentée sur la figure 3.1.7.



**Figure 3.1.7 : Températures et salinités issues du réseau REPHY entre 1990 et 2008 entre le cap d'Antifer et le cap Gris Nez (7 Stations, 1529 valeurs) et températures à la station référence au printemps, été et automne sur la même période. Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (▭) ; les moustaches 80 % des valeurs (┆). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (●)**

L'évolution annuelle de la température aux stations REPHY présente une allure sinusoïdale caractéristique des mers tempérées. Celle de la salinité est caractérisée par peu de variations annuelles. Les températures et les salinités mesurées dans le secteur de Penly dans le cadre des activités de surveillance s'inscrivent dans la gamme de valeurs définies localement par le REPHY. La distribution de la salinité issue du réseau de surveillance est dans la gamme supérieure des valeurs du REPHY. La différence dans le positionnement géographique des stations des deux réseaux pourrait être à l'origine de cette caractéristique.

Comparée aux autres centrales, la distribution de la température à Penly sur la période 1990-2008 est très proche de celle de Paluel à toutes les saisons. En revanche, la température médiane à Penly est généralement plus élevée que celle de Flamanville surtout en été, mais aussi en automne. La centrale de Flamanville est clairement influencée par les eaux océaniques de l'Atlantique. Ainsi en hiver cette masse d'eau est plus chaude que celle de la Manche, et en été elle présente des valeurs de température plus faibles. La comparaison des salinités entre les trois centrales permet aussi de mettre clairement en évidence l'influence du *fleuve côtier* sur les centrales de Penly et de Paluel. A Penly, la salinité reste du même ordre de grandeur que celle de Paluel, mais généralement bien inférieure à celle de Flamanville largement sous l'influence des eaux de océanique de l'Atlantique.

### 3.1.3.5 Discussion et conclusion

Les mesures de températures et de salinités réalisées après 1990 sont caractérisées par les mêmes variations saisonnières qu'avant la mise en service de la centrale. Les températures et salinités médianes calculées sur la période 1977-1989 sont aussi comprises dans l'échelle de température et de salinité établies entre 1990 et 2008. La principale tendance mise en évidence avec les données de surveillance est la diminution progressive de la température et de la salinité au printemps. Bien que la température de l'eau soit localement influencée par celle de l'air et qu'il existe une augmentation sensible de l'air au cours de ces deux dernières décennies, les données de surveillance ne montrent pas directement une hausse de la température de la colonne d'eau. En accord avec le cycle saisonnier de la température, le décalage des campagnes de mesures plus tôt dans l'année, et notamment au printemps, apparaît donc plutôt responsable de cette tendance. Les précipitations du mois d'avril sont aussi en moyenne les plus importantes de la saison printanière, le décalage des campagnes de mai vers avril serait donc aussi responsable de la diminution de la salinité mise en évidence au printemps. Ce phénomène est accentué par la présence d'une masse d'eau côtière bien individualisée et appelée « fleuve côtier ». Elle est générée par d'important courant de marées parallèles à la côte et s'étend sur 3 à 5 milles. Elle dérive vers le nord le long du littoral en raison des courants résiduels de marée et est continuellement alimentée par les apports fluviaux qui s'étendent de la baie de Seine au Pas de Calais. Séparé du reste des eaux de la manche par une zone frontale, la dispersion des apports continentaux vers le large peut ainsi être freinée. Dans ce contexte, l'influence des apports fluviaux, et par conséquent aussi de la pluviométrie, revêt un caractère important sur la salinité.

En terme d'impact, les températures médianes aux stations *canal* et *contrôle* apparaissent systématiquement plus élevées (écart  $< 1^{\circ}\text{C}$ ) après la mise en service de la centrale. L'inverse est observé à la station *référence*. Ces résultats suggèrent que les rejets pourraient avoir une influence sur la température aux stations avoisinantes. Ceci est en accord avec les travaux de modélisation du panache thermique qui mettent en évidence une recirculation des eaux échauffées en raison principalement du caractère alternatif des courants de marées dans ce secteur de la Manche.

La centrale peut représenter une source d'eau douce via les effluents d'eau déminéralisée des circuits primaires, secondaires et annexes pour le refroidissement des auxiliaires de l'îlot nucléaire. Le rejet d'eau dessalées, ou de composés mélangés aux eaux de refroidissement peuvent alors changer la conductivité de l'eau et donc modifier la mesure de salinité. Autour du point de *rejet*, d'importantes variations sont d'ailleurs souvent observées. Mais ces variations sont principalement dues au caractère turbulent du mélange près de la grille de rejets affectant ainsi la mesure du capteur du thermo-salinomètre par la formation de micro

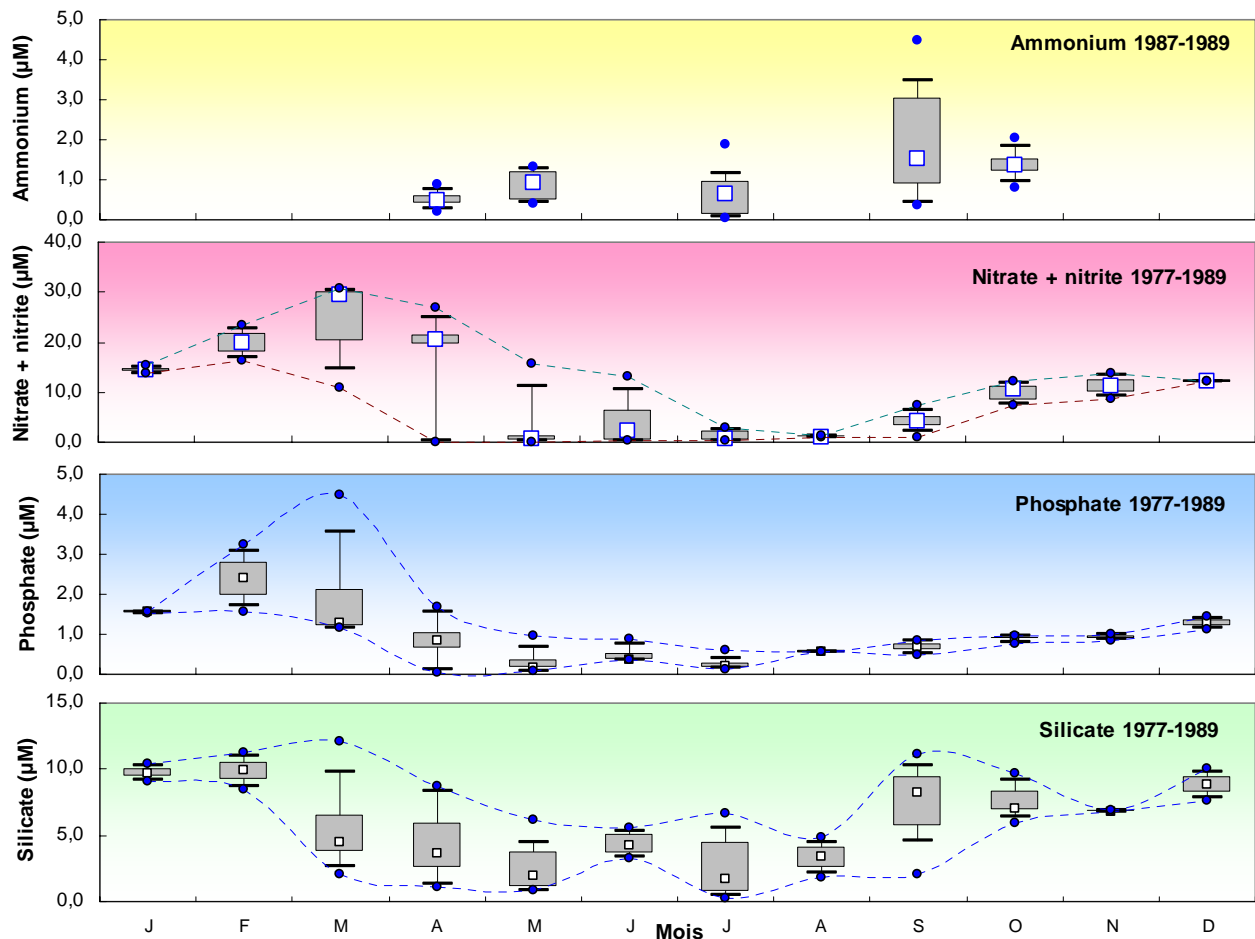


bulle. La possible modification de la salinité dans la colonne d'eau en raison de rejets liés à l'activité de la centrale est donc difficile à mettre en évidence. En outre, les rejets ne représentent qu'un faible volume (par an et par tranche), par rapport aux volumes d'eau de mer utilisés pour le refroidissement. Le facteur de dilution n'est également pas constant, puisque les rejets d'eau douce ne sont pas réguliers, mais ont lieu ponctuellement lors de vidanges ou d'opérations de maintenance.

### 3.1.4 Nutriments (Ammonium, Nitrate+nitrite, Phosphate, Silicate)

#### 3.1.4.1. Les nutriments avant la mise en service de la centrale (1977-1989)

La distribution des concentrations en nutriments est présentée sur la figure 3.1.8 pour la période de 1977 à 1989.



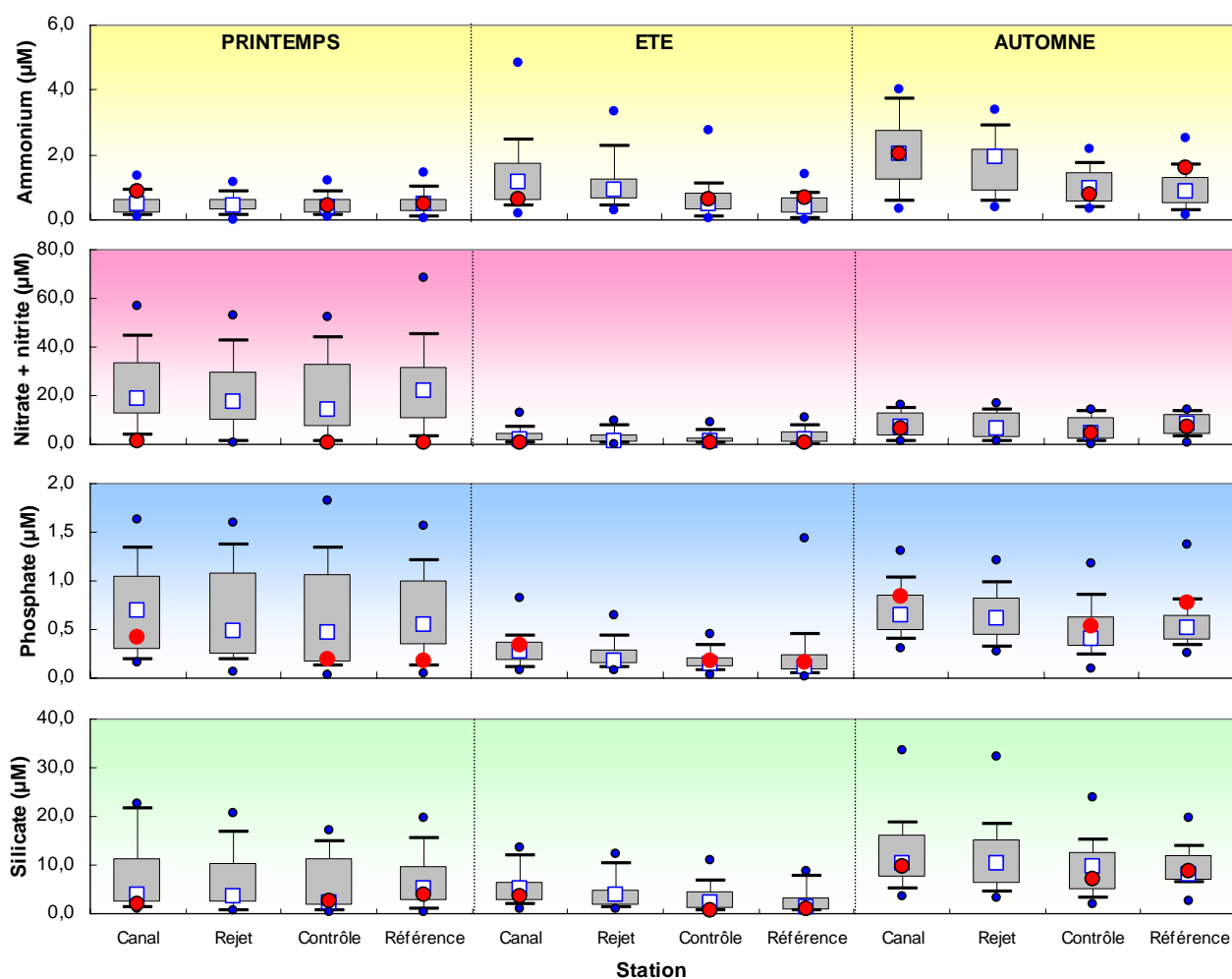
**Figure 3.1.8 : Distribution de la concentration en nutriments dans l'eau de mer tous points confondus et par mois sur la période d'études 1977-1989. Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (▭) ; les moustaches 80 % des valeurs (┘┐). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (●)**

Les concentrations en ammonium de 1977 à 1987 sont très élevées résultent vraisemblablement d'une contamination des échantillons. Dans ce contexte, seules les

concentrations mesurées au cours du début de la période de surveillance avant la mise en service de la centrale ont été présentées. L'ensemble des nutriments présente des variations saisonnières importantes et est caractérisé par une nette diminution des concentrations en été et une régénération plus ou moins importante en automne. La variabilité des concentrations est généralement élevée au printemps pour l'ensemble des nutriments et en automne pour l'ammonium et le silicate.

### 3.1.4.2. Les nutriments après la mise en service de la centrale (1990-2008)

La figure 3.1.9 présente la distribution des concentrations en nutriment observées au cours de la période 1990-2008. A titre de comparaison, les médianes des concentrations calculées sur la période d'avant mise en service de la centrale sont aussi présentées.



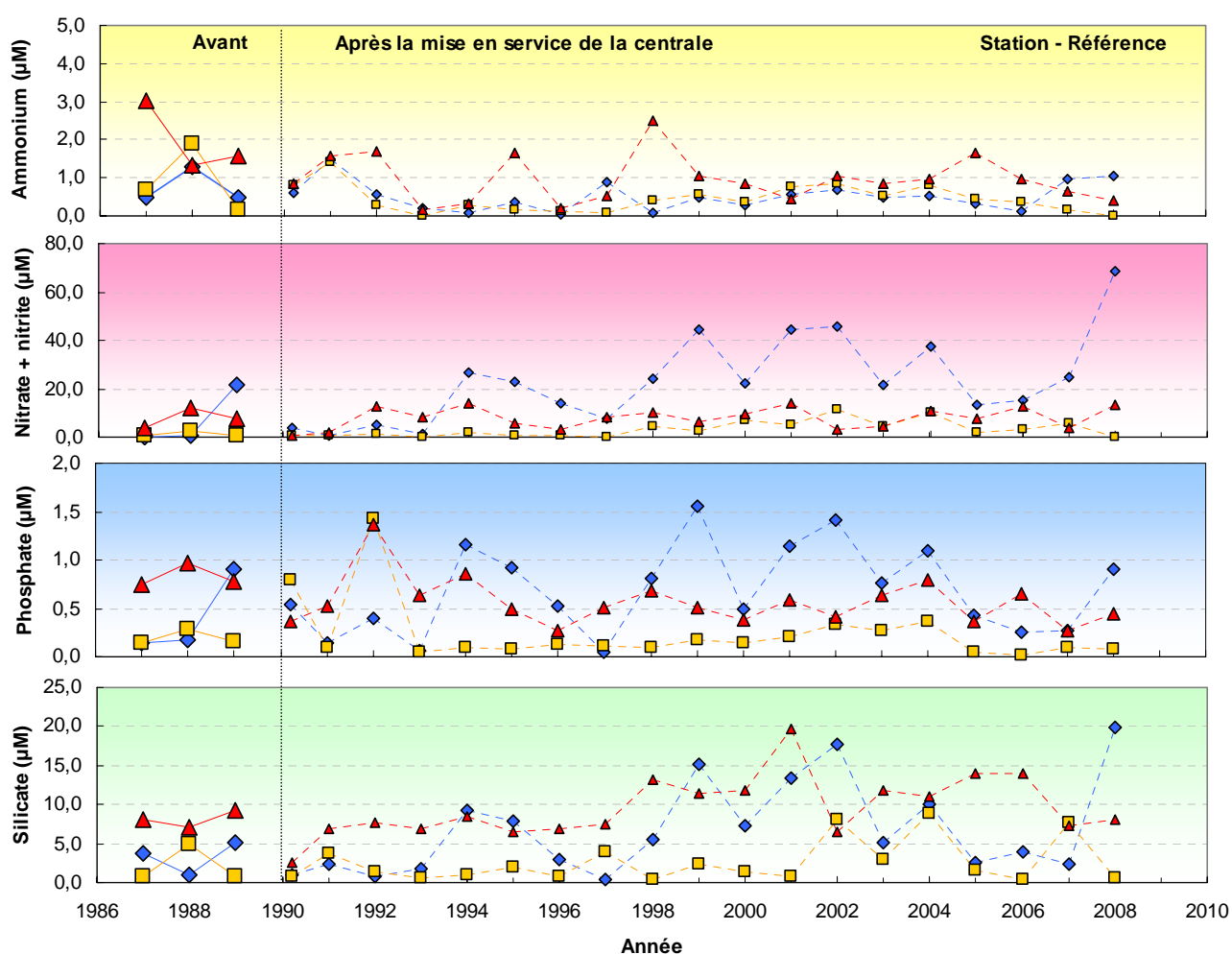
**Figure 3.1.9 : Distribution des nutriments dans l'eau de mer, par point, sur la période d'études 1990-2008. Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (▭) ; les moustaches 80 % des valeurs (┆). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (●). Les points rouges (●) représentent les concentrations médianes d'ammonium observées dans la période 1987-1989 aux différentes stations**

Au cours de la période 1990-2008, les nutriments suivent un cycle saisonnier marqué avec une nette diminution des concentrations en été et une régénération en automne. L'ammonium

et le silicate semblent être aussi rapidement assimilés au printemps. Les processus de régénération sont aussi plus marqués pour ces deux nutriments. Les concentrations au printemps sont très variables. La distribution des concentrations en nutriments est en général aussi caractérisée par un gradient côte-large décroissant. Les concentrations médianes établies sur la période 1977-1989 sont généralement similaires à celles observées entre 1990-2008. Elles sont toujours comprises dans la gamme de concentrations observées depuis 1990.

### 3.1.4.3. Evolution des concentrations en nutriments depuis le début de la surveillance

L'évolution des concentrations en nutriments au cours de la période de surveillance est présentée sur la figure 3.1.10.



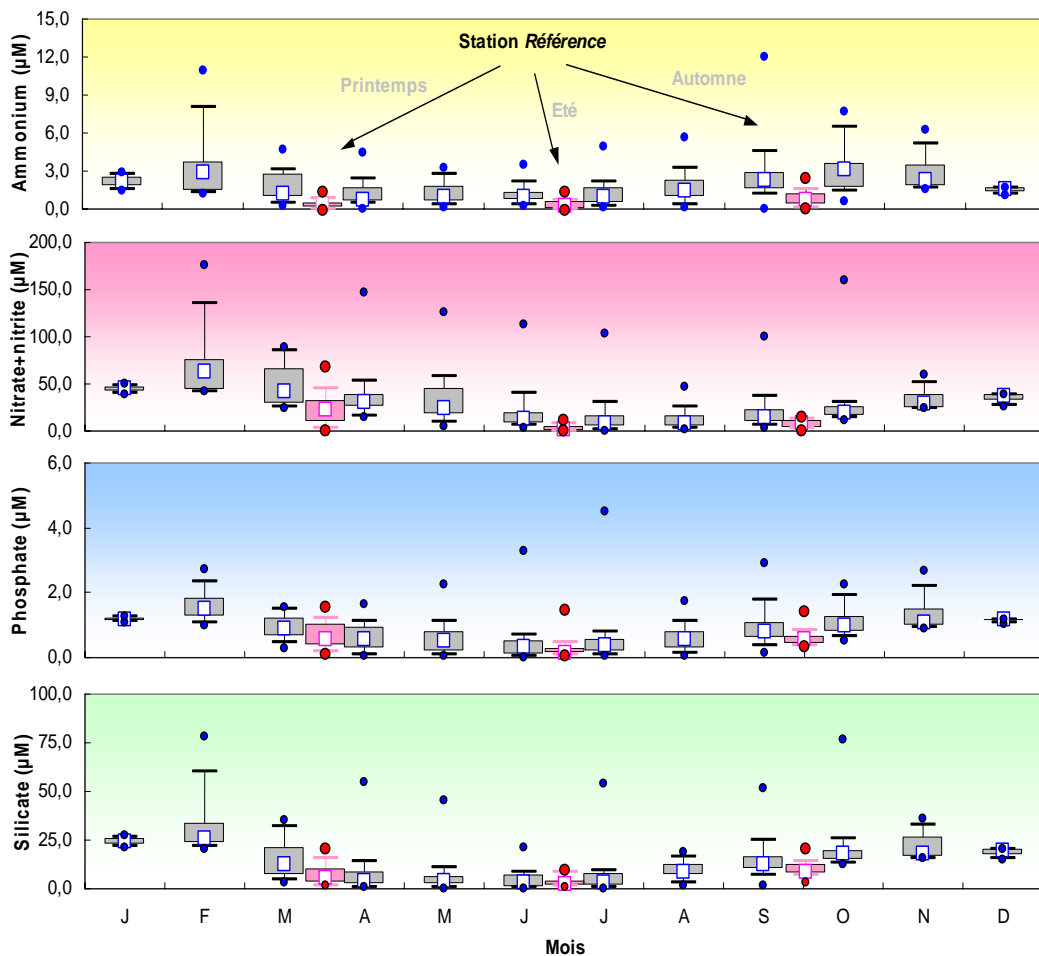
**Figure 3.1.10 : Variations des concentrations en nutriments à la station référence avant et après la mise en service de la centrale de Penly au printemps (◆), en été (◻) et en automne (▲)**

Excepté pour l'ammonium, les concentrations en nutriments ont tendance à augmenter au cours des années et en particulier au printemps. Malgré une certaine variabilité, les concentrations dépassent les niveaux établis avant la mise en service de la centrale. Au printemps l'augmentation des concentrations s'explique en raison du décalage progressif dans le temps des campagnes de surveillance plus tôt dans l'année. Les concentrations en

nutriments seraient ainsi plus élevées et représentatives de l'état du stock hivernal. L'augmentation des concentrations en nutriments est aussi en relation avec la diminution de la salinité durant cette saison. Les apports fluviaux sont généralement riches en nutriments et une plus faible dilution dans la masse d'eau côtière entraîne une augmentation des concentrations en nutriments.

#### 3.1.4.4. Contexte local, régional ou global

Les concentrations en nutriment enregistrées entre 1990 et 2008 par le REPHY entre le cap d'Antifer et le cap Gris Nez sont comparées à celles observées au point *référence* au cours de la même période sur la figure 3.1.11.



**Figure 3.1.11 :** Concentrations en nutriments issues du réseau REPHY entre 1990 et 2008 entre le cap d'Antifer et le cap Gris Nez et nutriments à la station *référence* au printemps, été et automne sur la même période (en rose). Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (□) ; les moustaches 80 % des valeurs (┘). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (●)

Les distributions des concentrations en nutriments au point *référence* depuis 1990 s'inscrivent dans l'empreinte des concentrations définies par le REPHY. Les valeurs du programme de surveillance sont toutefois dans la gamme la plus basse des concentrations observées localement. En raison du gradient côte-large observé pour l'ensemble des nutriments, il est possible que cette différence soit attribuable à la différence de localisation des stations du REPHY et de la surveillance.

Les concentrations en nutriments à Penly sont généralement proches de celles des autres centrales nucléaires. Toutefois des différences systématiques existent puisque les concentrations en nutriments à Penly sont généralement comprises entre celles de Paluel (supérieures) et celles de Flamanville (inférieures). Si la différence avec Paluel est difficilement explicable, celles avec Flamanville résulte clairement de l'influencée des eaux océaniques atlantiques plus pauvres en nutriments.

### 3.1.4.5. Discussion

En milieu côtier, le cycle des nutriments est généralement caractérisé par l'assimilation des nutriments en été suivit de leur régénération en automne qui conduit à la reconstitution du stock hivernal. La régénération est la conséquence de l'action des agents bactériens sur les particules détritiques de matière organique. D'autre part, c'est en automne que l'augmentation du régime de vents favorise le mélange des eaux au large et ainsi l'arrivée des nutriments du réservoir profond *via* l'advection vers les régions plus côtières. Cette disponibilité des nutriments peut donner lieu à des efflorescences automnales, caractéristiques des régions tempérées. L'augmentation du débit des fleuves permet aussi une fertilisation des eaux côtières par le lessivage des sols et les apports anthropiques.

L'évolution des concentrations avant et après la mise en service de la centrale présentent des variations saisonnières classiques. La période d'échantillonnage d'avant mise en circulation de la centrale est toutefois plutôt représentative de la fin du mois d'avril voir début mai. Durant cette période, l'activité phytoplanctonique a généralement déjà débutée et une partie ou la totalité des sels nutritifs a été assimilée. Les niveaux de nutriments sont donc bas. A l'inverse la période d'après mise en service est plus représentative de la fin du mois de mars voir début avril. A cette époque, l'activité phytoplanctonique n'a pas encore débutée et le stock hivernal des sels nutritifs n'a pas été entamé. Les concentrations sont donc élevées. Le phénomène de régénération est généralement plus marqué pour le silicate que pour les autres sels minéraux. Ceci pourrait expliquer pourquoi les concentrations en silicate atteignent (en automne) des niveaux relativement élevés par rapport aux autres nutriments. Sur le plan spatial, la présence d'un gradient décroissant observé du *canal* vers la station *contrôle* suggère que les concentrations en nutriments sont aussi influencée par les apports terrigènes.

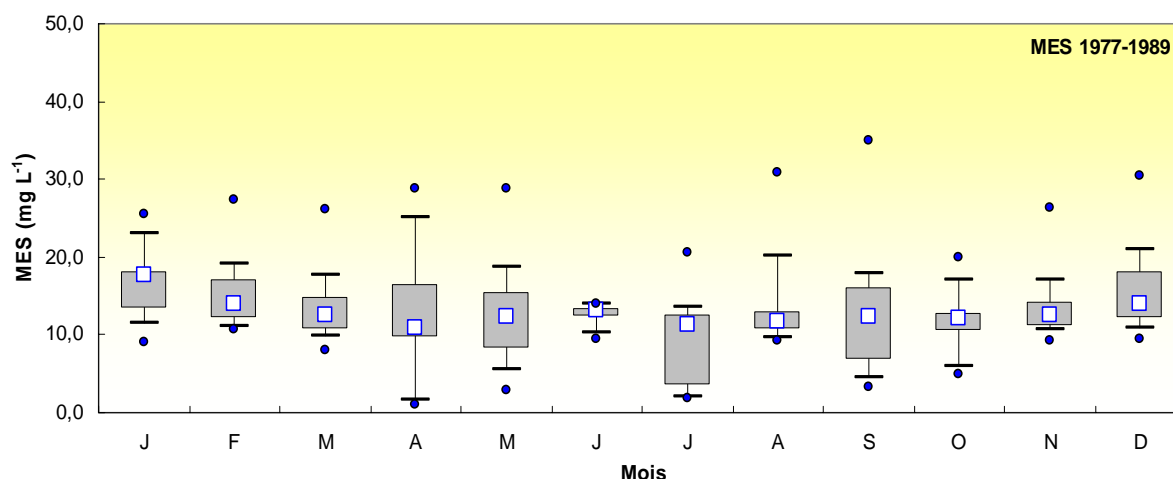
La centrale peut représenter une source potentielle de nutriments et en particulier d'ammonium *via* des rejets d'ammoniaque et de phosphate *via* l'utilisation et les rejets d'eau déminéralisée conditionnée au phosphate trisodique ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ). Toutefois, les données acquises au cours du programme de surveillance ne mettent en évidence aucune tendance pouvant être attribuée au fonctionnement de la centrale. La présence du gradient décroissant côte-large des concentrations ne semble pas indiquer que le point *rejet* soit une source particulière d'ammonium ou de phosphate. En été et en automne, les gradients de biomasse et d'abondance zooplanctonique, responsable de la production ammonium, sont généralement croissants vers le large et expliquerait donc la distribution spatiale du sel azoté. Finalement les données acquises dans le cadre de ma surveillance ainsi qu'au cours des études de projet et d'avant-projet ne permettent pas de mettre en évidence des anomalies dans le cycle des nutriments. Les activités de la centrale, à travers ses rejets, ne semblent donc avoir aucun impact mesurable sur les concentrations et le cycle des nutriments.

### 3.1.5 Matières en suspension (MES) et trihalométhanes

Pour éviter les phénomènes de « *fouling* » dans les canalisations de rejet des trihalométhanes sont utilisés. Il s'agit des composés volatils fréquemment identifiés dans les eaux chlorées et dont le bromoforme est la forme chimique dominante. Le suivi des trihalométhanes n'intervient que depuis 1991 sur la centrale de Penly. Depuis le début de cette surveillance, les concentrations en tribromométhanes (bromoforme) sont les plus souvent détectées dans le milieu. Dans ce contexte, cette section sera donc consacrée uniquement aux concentrations de bromoforme ( $\text{CHBr}_3$ ).

#### 3.1.5.1. MES avant la mise en service de la centrale (1977-1989)

Les variations de concentrations en MES observées depuis 1977 à 1989 sont compilées sur la figure 3.1.12.



**Figure 3.1.12 : Distribution de la concentration en matières en suspension (MES) dans l'eau de mer tous points confondus et par mois sur la période d'études 1977-1989. Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (▭) ; les moustaches 80 % des valeurs (┘┐). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (●)**

Elles sont caractérisées par des concentrations médianes qui sont comprises entre 10 et 20  $\text{mg L}^{-1}$  et qui restent relativement constantes au cours de l'année. Les valeurs maximales peuvent atteindre 40  $\text{mg L}^{-1}$ . La variabilité des concentrations est importante et il est donc difficile d'établir une tendance sur variations saisonnières caractéristiques.

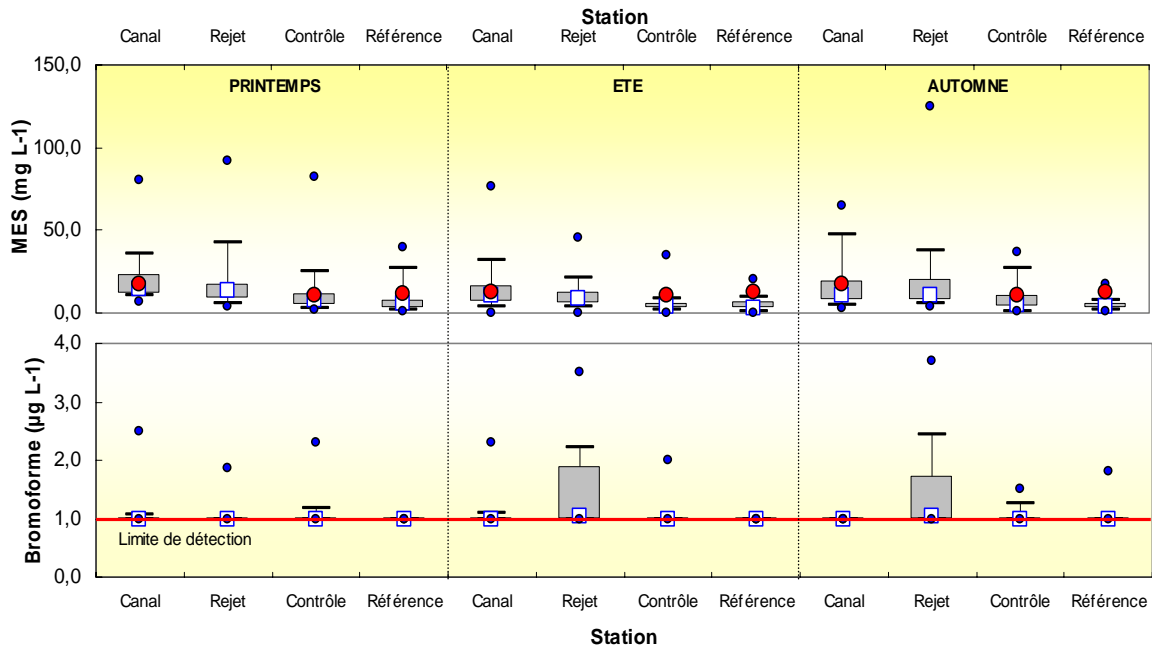
#### 3.1.5.2. MES et bromoforme après la mise en service de la centrale (1990-2008)

La figure 3.1.13 présente la distribution des concentrations en MES et bromoforme après la mise en service de la centrale et jusqu'en 2008. Cette figure montre que les concentrations médianes en MES sont relativement faibles ( $< 15 \text{ mg L}^{-1}$ ). Elles sont caractérisées par un gradient décroissant côte-large marqué. La variabilité est importante aux stations *canal* et *rejet*.

L'influence du *rejet* de bromoforme est clairement mise en évidence avec une dispersion nette de plus de 50 % des valeurs comprises entre 1 et 2  $\mu\text{g L}^{-1}$  principalement en été et automne. Toutefois les valeurs médianes à cette station restent très faibles indiquant que les

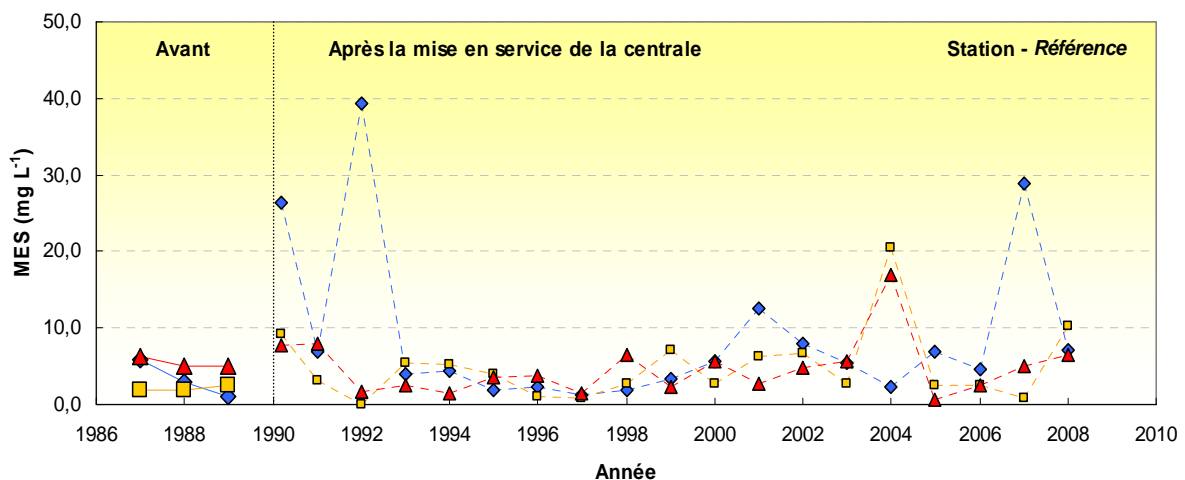
## Synthèse hydrobiologique du site du C.N.P.E. de Penly Chapitre 3 – Le domaine pélagique

concentrations ne sont détectables que de façon ponctuelle. L'influence des rejets en bromoforme est aussi parfois perceptible aux stations les plus proches (*canal* et *contrôle*). A une seule reprise, du bromoforme a été détecté à la station *référence* (1,8  $\mu\text{g L}^{-1}$  en automne 2001) depuis le début de la surveillance.



**Figure 3.1.13 :** Distribution de la concentration en matières en suspension (MES) et bromoforme dans l'eau de mer par station entre 1990-2008. Le point central représente la médiane ( $\square$ ) ; la boîte englobe 50 % des valeurs ( $\square$ ) ; les moustaches 80 % des valeurs (—). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales ( $\bullet$ ). Pour les MES, les points rouges ( $\bullet$ ) représentent les valeurs médianes de température observées dans la période 1977-1989 des différentes stations

Les concentrations médianes d'avant mise en service de la centrale sont relativement proches mais systématiquement supérieures à celles d'après mise en service. Les concentrations proches de la côte sont toujours supérieures à celles du large. L'évolution dans le temps des concentrations en MES est présentée à la station référence sur la figure 3.1.14 avant et après la mise en service de la centrale.

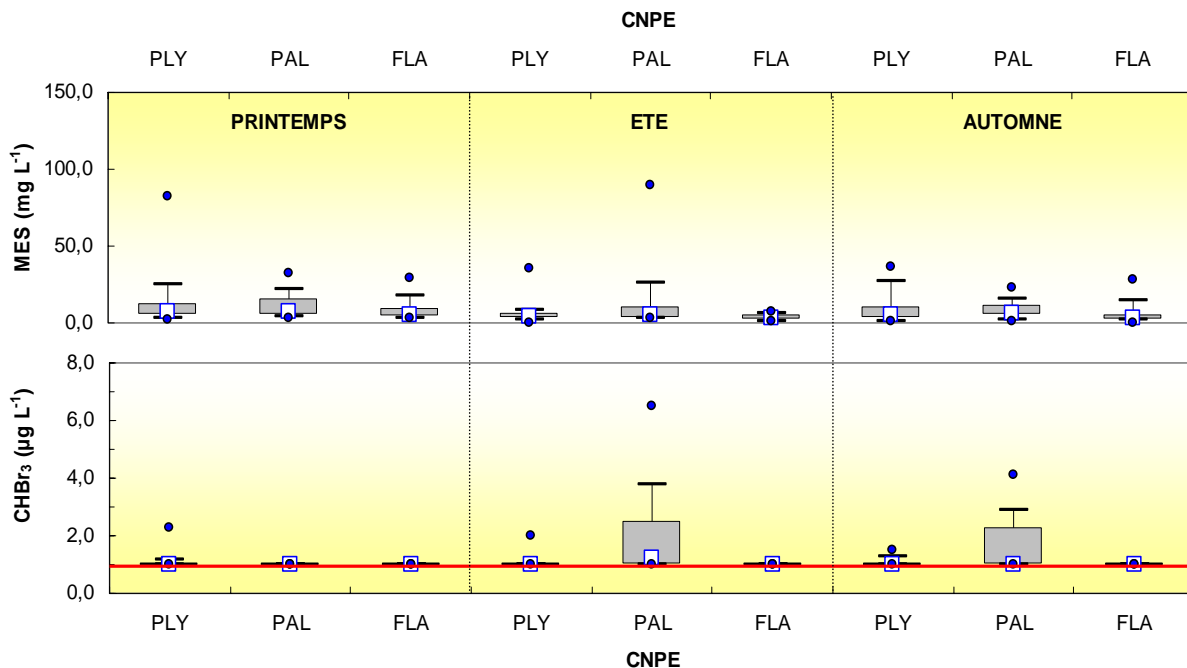


**Figure 3.1.14 :** Variations annuelle de la concentration MES au point référence avant et après la mise en service de la centrale de Penly au printemps ( $\diamond$ ), en été ( $\square$ ) et en automne ( $\blacktriangle$ )

Les concentrations avant la mise en service de la centrale sont toujours inférieures à  $10 \text{ mg L}^{-1}$ . Après la mise en service, elles restent généralement du même ordre de grandeur, mais dépassent occasionnellement ce seuil.

### 3.1.5.3. Contexte local, régional ou global

Les concentration en MES et en bromoforme ne sont pas des paramètres physico-chimique régulièrement suivis par l'Ifremer dans le cadre de ses réseaux de surveillance. Dans ce contexte, il est difficile d'établir une comparaison locale. Seules les données des autres centrales permettent une comparaison. La distribution des concentrations en MES et en bromoforme par saison et par centrales sont présentées sur la figure 3.1.15.



**Figure 3.1.15 :** Concentration en matière en suspension (MES) et bromoforme ( $\text{CHBr}_3$ ) au point *contrôle* à la CNPE de Penly (PLY), et aux points *référence* de Paluel (PAL), et de Flamanville (FLA) de 1990 à 2008. Le point central représente la médiane ( $\square$ ) ; la boîte englobe 50 % des valeurs ( $\square$ ) ; les moustaches 80 % des valeurs ( $\perp$ ). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales ( $\bullet$ )

Les centrales de Penly et Paluel sont caractérisées par des concentrations médianes en MES similaires et sensiblement supérieures à celles de Flamanville. A Penly, comme à Paluel, la variabilité des concentrations est plus élevée qu'à Flamanville, mais les concentrations maximales ne dépassent pas  $100 \text{ mg L}^{-1}$ .

A Penly, les concentrations en bromoforme sont généralement inférieures à celles de Paluel. Au *rejet* de Paluel, les concentrations maximales ont atteint ponctuellement  $11 \mu\text{g L}^{-1}$ . Le bromoforme n'est généralement détectable qu'en été et au printemps mais sur l'ensemble des stations. Aucune trace de bromoforme n'est détectée à la station *référence* de Flamanville.



#### 3.1.5.4. Discussion

En milieu côtier, les concentrations en MES sont généralement influencées par les apports terrigènes, le plancton et l'action des conditions météorologiques (tempêtes, houle et courant) sur le compartiment sédimentaire de surface. Des valeurs de 0,5 à 5 mg L<sup>-1</sup> sont couramment observées et elles peuvent atteindre plusieurs grammes par litre dans les zones de turbidité maximum. Ainsi les stations proches de la côte, et donc à faibles profondeurs, sont généralement caractérisées par des concentrations plus élevées en MES que les stations du large avec des profondeurs plus importantes. Cette tendance est vérifiée avec les gradients décroissants côte-large existant aussi bien avant, qu'après la mise en service de la centrale. La variabilité des concentrations semble avoir augmenté après la mise en service de la centrale et en particulier au niveau des stations *canal* et *rejet*. Paradoxalement les concentrations médianes à ces stations après la mise en service de la centrale sont inférieures à celles d'avant 1990. Il est possible que le nombre plus important de données acquises au cours de la période 1990-2008, comparé à 1977-1989, ait mieux défini la variabilité naturelle de la concentration en MES. Dans ce contexte les concentrations observées à Penly depuis 20 ans apparaissent normales, bien que l'augmentation de la variabilité de ces concentrations pourrait être imputable à la mise en service de la centrale. Toutefois, aucune tendance particulière ne peut être clairement mise en évidence à moyen terme et le gradient décroissant côte-large n'apparaît pas affecté par les rejets. Ainsi le fonctionnement de la centrale ne semble pas avoir d'impact notable sur les concentrations en MES.

Les rejets de trihalométhanes sont occasionnellement détectables en été et en automne principalement sous forme de bromoforme. Les stations proches du rejet sont aussi parfois caractérisées par des concentrations en bromoforme dépassant le seuil de détection. Les niveaux de concentrations maximaux observées restent néanmoins de l'ordre de 4 µg L<sup>-1</sup> et sont donc inférieurs au seuil dit 'acceptable' de 10 µg L<sup>-1</sup> (Abarnou et al. 1990). L'empreinte des rejets de trihalométhane de la centrale reste donc très limitée.

#### 3.1.6 Conclusions

Le présent document fait état d'une synthèse des données acquises depuis 1977 jusqu'en 2008 dans le compartiment pélagique dans le cadre des activités de surveillance de la centrale nucléaire de Penly. L'influence quantifiable de la centrale à travers ses rejets se résume principalement à (1) une perturbation thermique de la colonne d'eau limitée sur le plan spatial, (2) une possible augmentation des concentrations maximales en MES et (3) la présence de bromoforme sur la radiale au droit du site.

Avant et après la mise en service de la centrale, l'évolution annuelle de la température présente par une allure sinusoïdale caractéristique des milieux tempérés. La variabilité spatiale est faible en raison du brassage relativement important de la colonne d'eau dans ce secteur de la Manche. Les variations saisonnières sont identiques à celles observées localement dans le cadre du REPHY (du cap d'Antifer au cap Griz Nez) ou de la surveillance des autres centrales nucléaires (Paluel et Flamanville). La principale tendance observée sur la période de surveillance indique une baisse des températures au printemps au cours de la période 1990-2008. Ces variations sont attribuables au décalage progressif des campagnes de surveillance plus tôt dans l'année, échantillonnant ainsi de l'eau de mer plus froide. Les

activités de la centrale génèrent une perturbation thermique dont l'impact est quantifiable localement uniquement aux stations les plus proches du *rejet* (i.e. *canal* et *contrôle*).

La mise en service de la centrale n'a que très peu modifiée la distribution générale des teneurs en MES avant 1990. Les concentrations maximales observées depuis 1990 sont toutefois plus élevées ( $\sim 100 \text{ mg L}^{-1}$ ), mais 80 % des valeurs restent du même ordre que celles d'avant 1990. Paradoxalement, les médianes calculées sur la période 1990-2008 sont inférieures à celles d'avant la mise en service de la centrale. Elles mettent aussi en évidence un gradient côte-large décroissant, suggérant que l'action physique des rejets n'affecte pas directement la distribution spatiale des teneurs en MES. Comparées aux autres centrales, les concentrations en MES à Penly sont similaires à celles de Paluel et légèrement supérieures à celles de Flamanville. Aucune tendance particulière n'est mise en évidence au cours de la période de surveillance. Si la hausse des teneurs maximales en MES depuis 1990 apparaît directement liée au fonctionnement de la centrale, elle pourrait aussi résulter de la variabilité naturelle de ce paramètre, car les niveaux de concentrations restent dans la gamme de ceux couramment observée en milieu côtier.

Les concentrations en trihalométhanes sont occasionnellement détectables sous forme de bromoforme. La distribution des concentrations sur la période 1991-2008 met clairement en évidence l'influence du rejet en été et en automne. Le bromoforme est aussi parfois détectable aux stations proches de celles du rejet (*canal* et *contrôle*). Toutefois, les concentrations maximales sont toujours restées inférieures à  $4 \mu\text{g L}^{-1}$  et sont donc largement en dessous du seuil dit 'acceptable' de  $10 \mu\text{g L}^{-1}$ . Elles sont comprises entre celles de Paluel et de Flamanville. Par conséquent, l'empreinte des rejets de trihalométhane de la centrale reste très limitée tant sur le plan spatial que sur le plan des concentrations.

Ces rejets et perturbations ne semblent toutefois pas affecter à moyen terme ( $\sim 20/30$  ans) l'équilibre du domaine pélagique autour de la centrale de Penly.

Les variations saisonnières des paramètres physico-chimiques de l'eau de mer sont classiques et en relation avec l'hydrodynamisme local. Les variations pluriannuelles observées sont similaires à celles observées dans des réseaux de surveillance comme le REPHY (Réseau de surveillance PHYtoplanctonique) ou au niveau des autres centrales nucléaires de Paluel et Flamanville. La nature des tendances pluriannuelles observées s'expliquent alors généralement par l'évolution du protocole de surveillance et/ou l'évolution climatique globale et ne sont pas attribuables au fonctionnement de la centrale.

## 3.2 Le Phytoplancton

### 3.2.1 Introduction

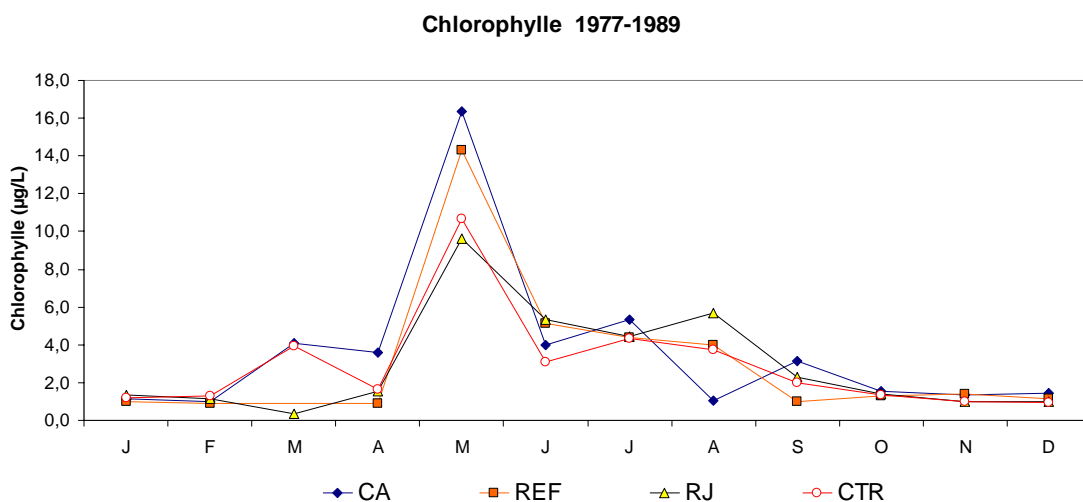
La mesure de la biomasse chlorophyllienne associée à l'identification et au dénombrement des espèces phytoplanctoniques et complétée par des mesures de l'activité photosynthétique des peuplements phytoplanctoniques permet de suivre l'évolution des peuplements et d'évaluer l'influence des facteurs abiotiques.

L'activité photosynthétique d'une communauté phytoplanctonique dépend autant de la quantité et de la qualité des pigments contenus dans les chloroplastes que de la quantité d'énergie lumineuse reçue. La biomasse du phytoplancton est souvent exprimée en concentration de chlorophylle *a* présente dans l'ensemble des organismes autotrophes. La production primaire met en évidence la vitesse de reproduction des peuplements phytoplanctoniques autotrophes tandis que le paramètre 'abondance cellulaire' permet de caractériser une population phytoplanctonique par le dénombrement et l'identification de ses cellules. Les prélèvements d'eau en vue de l'étude du phytoplancton ont été réalisés aux mêmes points et niveaux que pour les paramètres physico-chimiques et avec le même matériel (voir chapitre 3.1).

### 3.2.2 Biomasse phytoplanctonique

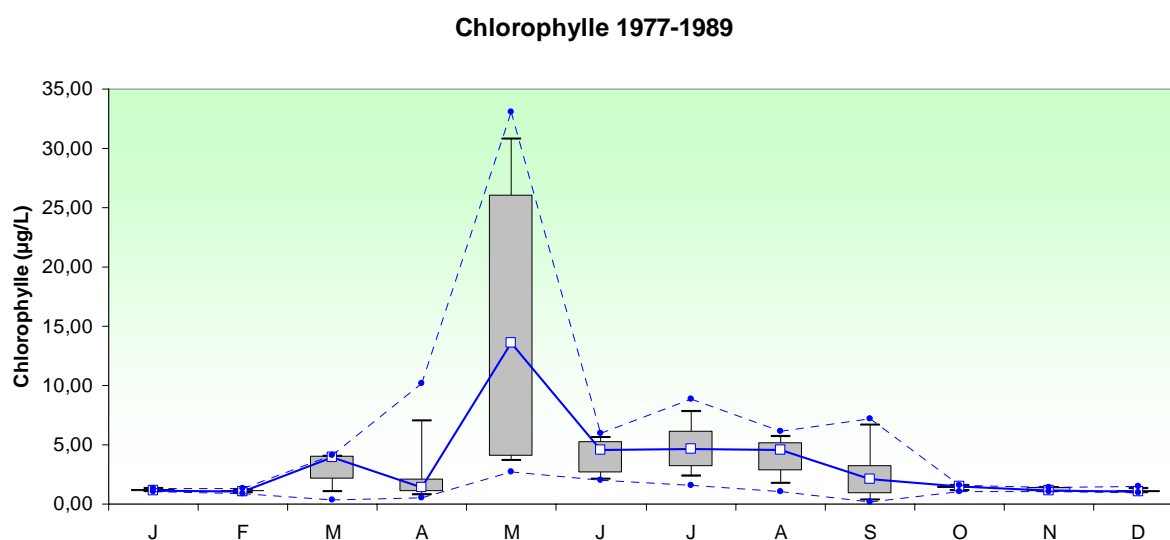
A chaque point de prélèvement, deux réplicats par bouteille ont été réalisés pour les analyses de chlorophylle *a* (chl<sub>a</sub>). Pour la mesure de la production primaire, le nombre d'échantillons a été doublé. Un échantillon d'un litre environ est filtré aussitôt après le prélèvement sur un filtre en fibre de verre type GF/F Whatman (Aminot et Chaussepied, 1983). La quantité de chlorophylle *a* a été mesurée par la méthode spectrophotométrique monochromatique de Lorenzen (1967) pour les campagnes effectuées de 1984 à 2009, et par la méthode fluorimétrique de 1976 à 1983.

#### 3.2.2.1 Biomasse avant la mise en service de la centrale (1977-1989)



**Figure 3.2.1 : Distribution des médianes de la Chl<sub>a</sub> dans l'eau de mer par point et par mois pour la période d'études 1977-1989**

La figure 3.2.1 présente l'évolution de la biomasse phytoplanctonique par sa concentration en chlorophylle *a* dans la période 1977-1989. De janvier à février, les niveaux de biomasse sont faibles et stables pour l'ensemble des stations. A partir de mars, la biomasse augmente pour les points *canal* et *contrôle*, alors qu'elle reste stable et faible jusqu'en avril pour les points *rejet* et *référence*. La biomasse de l'ensemble des points augmente ensuite jusqu'à atteindre le maximum annuel au mois de mai. La médiane maximale enregistrée au mois de mai est de 16,3 µg/L au point *canal*. Il s'ensuit une diminution brutale de la biomasse au mois de juin. En été (juillet – août) la concentration en chlorophylle *a* diminue ou se stabilise jusqu'en décembre. Durant l'automne, les concentrations sont faibles et stables pour l'ensemble des points.



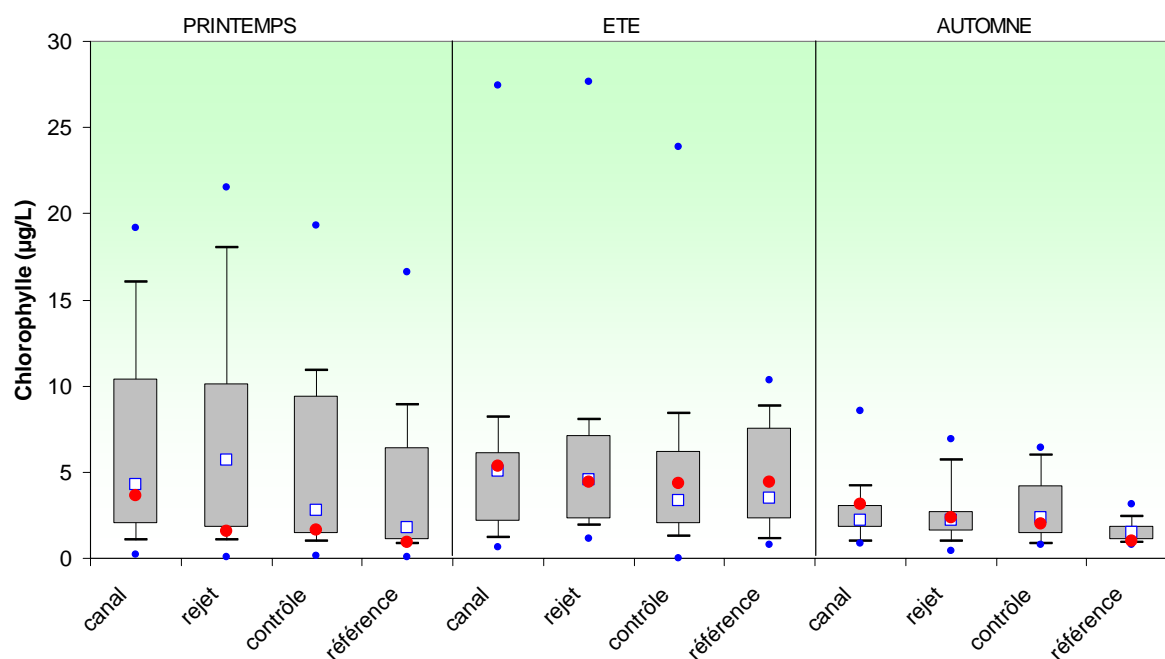
**Figure 3.2.2 : Distribution des médianes de la Chla dans l'eau de mer tous points confondus et par mois pour la période d'études 1977-1989, ainsi que les valeurs maximum et minimum**

L'évolution de la médiane générale (figure 3.2.2), tous points confondus, reste similaire à celle observée dans la figure 3.3.1 avec un maximum de biomasse au mois de mai après une hausse amorcée en mars. Des valeurs relativement faibles mais variables sont observées entre juin et septembre puis les valeurs de biomasse diminuent encore pour atteindre les faibles niveaux hivernaux qui sont stables d'octobre à février. Les plus fortes dispersions sont observées de mars à septembre, avec un maximum en mai, ce qui suggère des fortes variations inter-annuelles de ce paramètre. La valeur maximale observée dans la période 1977-1989 atteint 33,08 µg/L au mois de mai. La valeur minimale, 0,34 µg/L, est enregistrée en mars.

### 3.2.2.2 Biomasse après la mise en service de la centrale (1990-2009)

La variabilité observée entre les médianes des points canal, rejet et référence est faible à l'intérieur de chaque période d'échantillonnage (figure 3.2.3). Aucun gradient apparent n'est observé sur l'ensemble des données enregistrées entre 1990 et 2009. On peut cependant noter que les médianes des points contrôle et référence sont plus faibles que celles des points rejet

et canal au printemps. Les valeurs intra-annuelles présentent une très forte variabilité au printemps. Cette variabilité diminue en été et est faible à l'automne. La très forte variabilité observée au printemps s'explique par la forte variation de la biomasse à cette période. En effet, en fonction des conditions environnementales qui favorisent ou non la croissance du phytoplancton, la date d'échantillonnage peut se situer soit, au moment d'une efflorescence phytoplanctonique printanière qui se caractérise par des niveaux de biomasse très élevés, soit en dehors d'une telle période.



**Figure 3.2.3 : Distribution des médianes de la chla dans l'eau de mer sur la période d'études 1990-2009. Les points rouges représentent les valeurs observées dans la période 1977-1989**

La comparaison des médianes de la période avant et après la mise en service de la centrale est présentée dans la figure 3.2.3. Elle met en évidence des valeurs du même ordre de grandeur en été et en automne pour l'ensemble des points. En revanche à l'exception du point canal au printemps qui ne présente pas de différence importante entre les deux périodes, les concentrations en chla observées dans la période 1977-1989 sont plus faibles au printemps que pour la période 1990 -2009 pour les trois autres points (rejet, contrôle, référence). Cette variation s'explique par les différences entre les stratégies d'échantillonnage des deux périodes. A cette saison, alors qu'il y a une date de prélèvement au milieu du printemps dans la série la plus récente, il y a dans la série 1977-1989 plusieurs prélèvements au début et à la fin du printemps, au moment où les biomasses sont les plus faibles. Cet échantillonnage tend donc à abaisser la médiane pour cette période. L'été et l'hiver étant caractérisés par des niveaux de biomasse plus stables, ce phénomène n'apparaît pas sur les données.

## Chlorophylle a

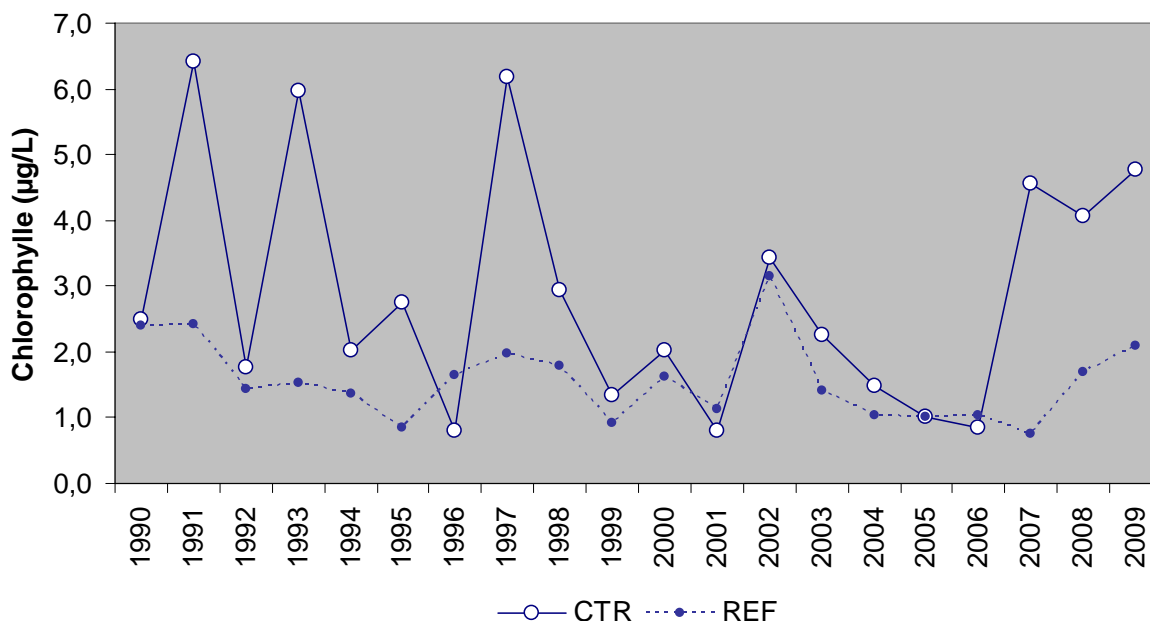


Figure 3.2.4 : Évolution de la chlorophylle aux points contrôle et référence du mois de septembre sur la période 1990-2009

L'évolution de la chlorophylle aux points contrôle et référence au mois de septembre ne montre pas de tendances particulières sur les 20 années de suivi. Aucune tendance à la hausse ou la baisse n'est remarquable. Nous pouvons cependant remarquer que depuis 1999 l'évolution du point contrôle et références est similaire, ce qui n'était pas le cas de 1990 à 1999. Nous pouvons également noter une baisse des niveaux de biomasse aux deux points entre 2002 et 2006, qui a été suivie d'une hausse, plus marquée au point contrôle. (figure 3.2.4).

### 3.3.2.3 Discussion

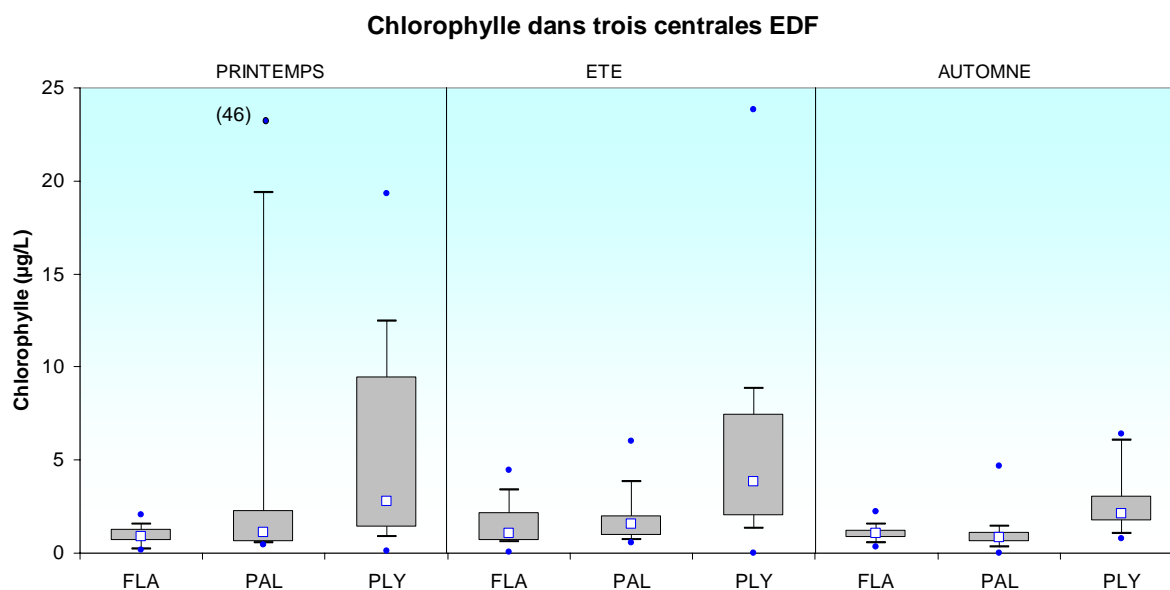
L'évolution de la biomasse phytoplanctonique observée à Penly suit le cycle classiquement décrit dans les écosystèmes côtiers tempérés. Après de faible concentration hivernale en Chla, une augmentation de la biomasse se produit au début du printemps (mars) suite à l'augmentation de l'ensoleillement, de la température et l'évolution de l'hydrodynamisme. Cette efflorescence printanière se développe sur les stocks de nutriments hivernaux et conduit à l'épuisement rapide de ceux-ci (phosphate, nitrate et silicate). La biomasse de la fin du printemps et de l'été est stable et évolue en équilibre en fonction des apports extérieurs (fleuves) et de la régénération de la matière organique par les bactéries. Des augmentations ponctuelles de biomasse sont ainsi observées en été suite à des orages ou à des vents violents en mer. Les espèces présentes en été sont capables de se développer et se maintenir avec de faibles apports de nutriments. Il existe ainsi une succession des espèces phytoplanctoniques tout au long de l'année qui répond à l'évolution des paramètres physico-chimiques dominants. A l'automne, lors des premiers coups de vent, la masse d'eau du large, stratifiée jusque là, se mélange, permettant l'arrivée des eaux profondes, riches en nutriments vers la surface. Grâce

aux courants, ces eaux arrivent dans les zones côtières, favorisant l'apparition des efflorescences automnales, de moindre intensité qu'au printemps. Nous pouvons noter que ces efflorescences automnales sont peu importantes à Penly. Le faible ensoleillement hivernal et ne permet pas une activité phytoplanctonique importante ce qui permet l'accumulation dans la colonne d'eau des nutriments apportés par les fleuves gonflés par les pluies hivernales. Ces stocks de nutriments seront utilisés au printemps suivant.

Les valeurs des concentrations en Chla observées à Penly avant et après la mise en service de la centrale sont relativement élevées et présentent une dispersion importante en particulier au printemps. Elles mettent en évidence le caractère très côtier de cette zone, caractérisée par des eaux riches en nutriment et un hydrodynamisme modéré en comparaison des façades exposées aux vents dominants et aux influences océaniques. Ces conditions sont propices à de forts développements phytoplanctoniques qui comme décrit précédemment (3.3.2.2) expliquent la forte dispersion des valeurs.

### 3.3.2.4 Contexte local, régional ou global

Afin de donner un cadre géographique à l'évolution de la chlorophylle dans le secteur de Penly nous avons comparé les valeurs obtenues pour cette centrale à celles des autres centrales. L'absence de point REPHY présentant de longue série temporelle dans le zone de Penly ne nous a pas permis de prendre en compte les données de ce réseau dans le comparatif.



**Figure 3.2.5 : Valeurs médianes en Chla des points référence des centrales nucléaires de Flamanville et Paluel, et du point contrôle à Penly sur la période 1990-2009**

Les médianes de Chla observées à la centrale de Penly au printemps, à l'été et à l'automne sont supérieures à celles des centrales de Flamanville et de Paluel qui sont comparables. (figure 3.2.5). Cette figure confirme la dispersion des valeurs de Penly en comparaison des autres centrales normandes. Cette dispersion comme exposé précédemment montre que cette zone est le siège d'une forte activité phytoplanctonique favorisé par les apports de nutriments et l'hydrodynamisme local.

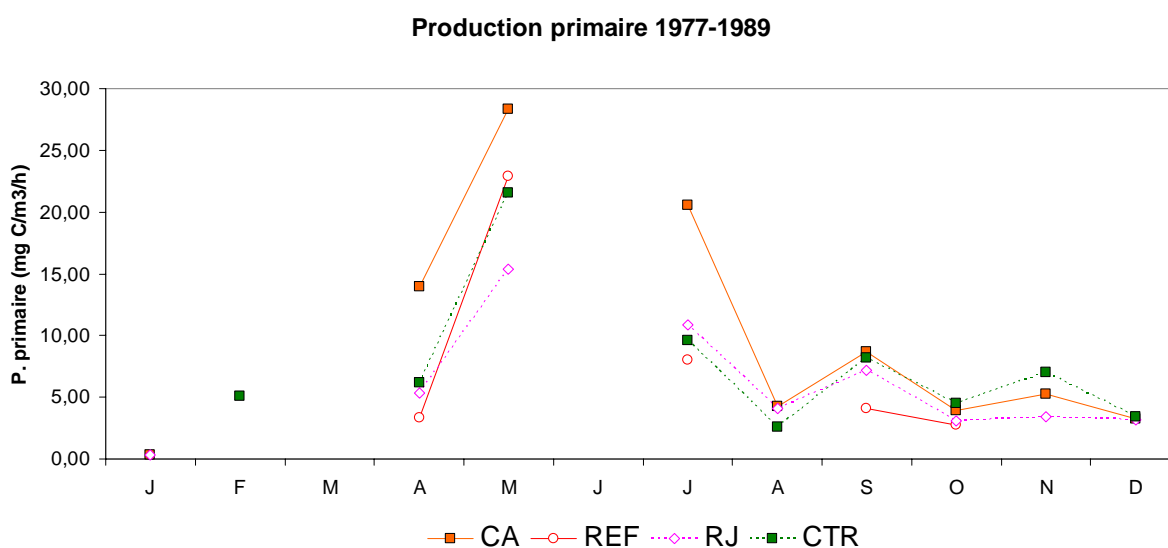
Dans un contexte plus global, les concentrations en Chla dans l'océan ouvert restent inférieures à 1 µg/L. En milieu estuarien, elles peuvent atteindre plusieurs dizaines de

microgrammes par litre (Aminot et Chaussepied, 1983). Les panaches fluviaux, qui peuvent apporter des nutriments sur plusieurs dizaines de kilomètres en mer, jouent le rôle de fertilisants, donnant lieu à des concentrations en Chla supérieures à celles du milieu environnant. C'est ce type de situation qui est rencontré à Penly.

### 3.2.3 Production primaire

La méthode de mesure de la production primaire a été conçue par Steeman Nielsen (1951, 1952) et décrite en détail par Brouardel et Rink (1963). Elle consiste à mesurer la quantité de carbone 14 ( $^{14}\text{C}$ ) proposée sous forme de carbonate de sodium ( $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$ ) retenue par les organismes d'un échantillon d'eau de mer pendant un laps de temps donné. Une quantité connue de carbonate de sodium marquée au carbone radioactif est introduite dans un échantillon d'eau de mer. Grâce à la photosynthèse, les organismes autotrophes contenus dans l'échantillon assimilent le carbone pour élaborer leur matière organique (croissance, reproduction). Après un temps donné d'exposition à la lumière (incubation), l'échantillon est filtré. L'activité du  $^{14}\text{C}$  contenu dans les organismes retenus par le filtre est mesurée et comparée à l'activité du  $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$  introduit. La quantité de carbone assimilée par unité de temps varie selon l'abondance et l'état physiologique des organismes, la lumière (intensité, longueur d'onde) et les caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer échantillonnée. Le  $^{14}\text{C}$  mesuré sur le filtre ne correspond pas entièrement au carbone assimilé par photosynthèse. À ce dernier s'ajoute le carbone absorbé par processus physique ou par les bactéries. Pour estimer l'absorption du carbone par des phénomènes autres que la photosynthèse, l'échantillon d'eau est placé dans deux flacons : un à parois transparentes et l'autre à parois obscures. L'inoculation et l'incubation des deux sous-échantillons s'effectuent dans les mêmes conditions. Les résultats présentés correspondent aux incubations des flacons clairs sans corrections.

#### 3.2.3.1 Production primaire avant la mise en service de la centrale (1977-1989)

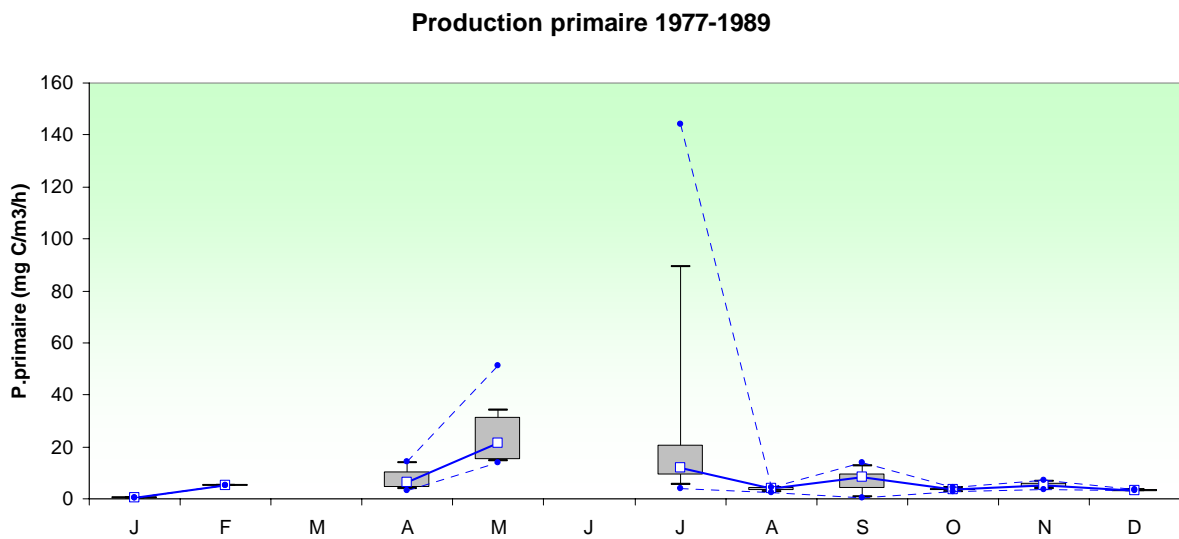


**Figure 3.2.6 : Distribution de la production primaire dans l'eau de mer par point et par mois pour la période d'études 1977-1989**



Le maximum de la production primaire de carbone est observé en mai pour l'ensemble des points, suivi de juillet et septembre (figure 3.2.6). Les valeurs d'août sont comparables à celles d'octobre et de décembre et inférieures à celles de novembre. Les valeurs mesurées au point canal sont généralement les plus fortes à l'image de la concentration en Chla (figure 3.3.1). Les valeurs de production primaire des points référence et contrôle sont proches. Nous pouvons noter que l'ensemble des points suit la même tendance.

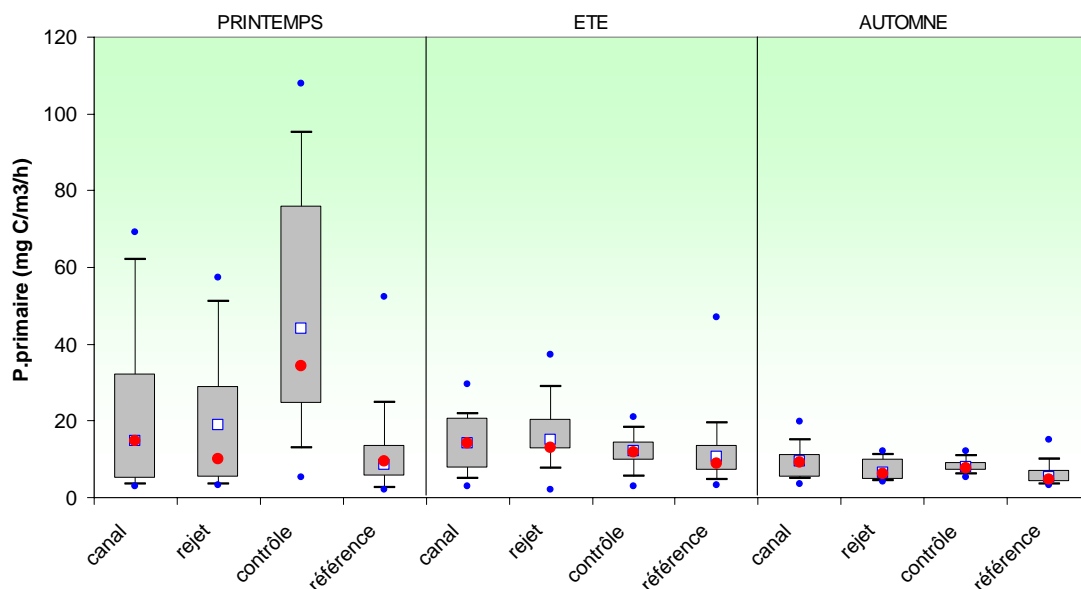
Les médianes de l'ensemble de données enregistrées entre 1977 et 1989 (figure 3.2.7) montrent que la période productive s'étend du mois d'avril au mois de juillet. Les valeurs maximales de médianes sont atteintes en mai (21,53 mg C/m<sup>3</sup>/h). Au mois d'août les valeurs diminuent et restent basse autour de 4 mg C/m<sup>3</sup>/h jusqu'en décembre bien qu'un rebond atteignant 8,21 mg C/m<sup>3</sup>/h soit mesuré en septembre.



**Figure 3.2.7 : Distribution de la médiane de production primaire dans l'eau de mer, tous points confondus et par mois, sur la période d'études 1977-1989, ainsi que les valeurs maximum et minimum**

Un faible pic automnal est donc observé en septembre. Les plus fortes dispersions sont observées au printemps et en été, avec des valeurs maximum en mai et juillet. Des valeurs minimum de production primaire sont enregistrées en janvier (0,34 mg C/m<sup>3</sup>/h). Les maximums ont été observés en mai et juillet avec des valeurs se situant respectivement de 51,14 et 144,03 mg C/m<sup>3</sup>/h. La valeur de 144,03 mg C/m<sup>3</sup>/h étant extrêmement élevée, elle doit être considérée avec précaution.

### 3.2.3.2 Production primaire après la mise en service de la centrale (1990-2006)



**Figure 3.2.8 : Distribution des médianes de la production primaire dans l'eau de mer sur la période d'études 1990-2006. Les points rouges représentent les valeurs observées dans la période 1977-1988**

Le suivi par la technique de l'incorporation de  $^{14}\text{C}$  a été utilisé jusqu'en 2006, ensuite une autre méthode a été appliquée. De plus, le point contrôle doit être considéré avec prudence car il a été suivi uniquement pendant trois années, 1992, 1993 et 1994, ce qui explique en partie la forte dispersion observée à ce point au printemps. Pour plus de clarté, ce point ne sera pas considéré dans le commentaire ci-dessous.

Les médianes de production primaire de la période 1990-2006 sont du même ordre de grandeur que celles de la période 1977-1989 et suivent globalement le même schéma saisonnier. Aucune tendance saisonnière évidente des médianes n'apparaît (figure 3.2.8). En revanche, la dispersion est plus forte au printemps en particulier au niveau du point canal et rejet, elle s'atténue en été et est faible en automne. Cette dispersion est conforme à celle observée pour la concentration en chl<sub>a</sub> et les explications sont comparables (figure 3.2.3).

Au printemps et en été les valeurs de production primaire aux points canal et rejet sont supérieures à celles au point référence, en automne ces différences sont peu marquées.

Depuis 2007, une nouvelle méthode de mesure de la production primaire est utilisée. Cette méthode utilise un fluoromètre modulé (Pulse amplitude Modulated –PAM- Walz) qui permet de mesurer des variations de fluorescence au niveau du photosystème II des cellules phytoplanctoniques et ainsi de déterminer la production potentielle maximale d'un peuplement *in vivo* (Falkowski et Raven, 2007 ; Sakshaug et al., 1997). Cette méthode permet également d'estimer l'état physiologique de ce peuplement. Le transfert d'énergie au niveau de l'appareil photosynthétique (photosystème II) des cellules phytoplanctoniques pourra être modifié lorsque les cellules sont stressées par des facteurs environnementaux tels que la limitation en nutriments ou une très forte lumière. La série historique étant très courte, nous ne présentons pas ces nouvelles données dans ce document de synthèse.

## Production primaire

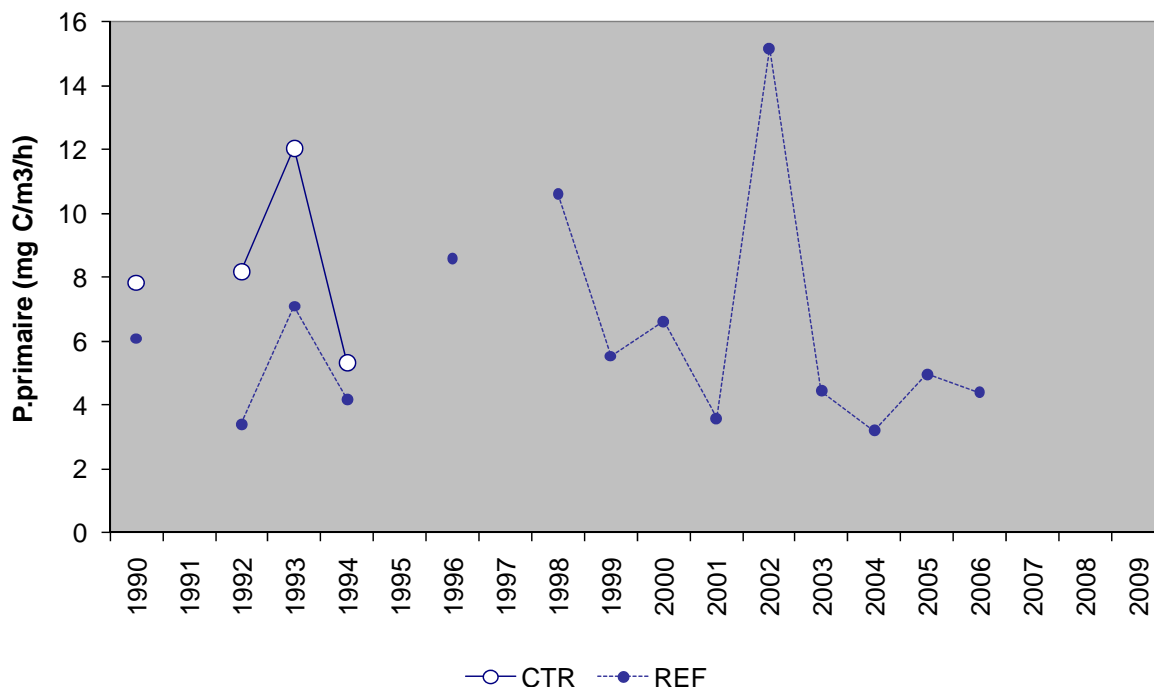


Figure 3.2.9 : Évolution de la production primaire aux points contrôle et référence du mois de septembre sur la période 1990-2006

Les données pour le point contrôle étant peu nombreuses, nous décrivons ci-dessous uniquement les données du point référence. À l'image de l'évolution de la chlorophylle au point référence au mois de septembre, aucune tendance particulière n'apparaît sur les 20 années de suivi. Nous pouvons cependant remarquer une valeur de 15,17 mg.C/m<sup>3</sup>/h en 2002 qui est la plus élevée devant celle de 1998 (10,61 mg.C/m<sup>3</sup>/h). Les valeurs de 2003 à 2006 montrent une variabilité inter-annuelle au mois de septembre moins marquée que les années précédentes.

### 3.2.3.3 Discussion

Ce paramètre fournit une information dynamique de l'évolution de la biomasse phytoplanctonique. En effet, si la chlorophylle présente une image instantanée de la biomasse dans un endroit et à un moment T<sub>0</sub>, la production primaire donne une idée de son taux de reproduction, de sa dynamique. Une forte biomasse peut être le fruit d'une accumulation de cellules dans une convergence, ou la conséquence d'un faible taux de broutage par le zooplancton, accompagné d'une faible production de biomasse. Cependant, l'évolution de ces deux paramètres est similaire, ce qui suggère l'action des mêmes facteurs externes dans le contrôle de biomasse et production primaire.

### 3.2.3.4 Contexte local, régional ou global

Dans le domaine côtier, la production primaire n'est pas un paramètre de routine car il est difficile à acquérir. Les réseaux locaux et régionaux tel que le REPHY n'utilisent que la biomasse et les abondances cellulaires pour caractériser le compartiment phytoplanctonique. Nous pouvons cependant effectuer des comparaisons entre les valeurs obtenues lors des campagnes de surveillance de trois centrales normandes, Flamanville, Paluel et Penly (figure 3.2.10) comme nous l'avons fait pour la biomasse.

Au printemps, les médianes de production primaire mesurées à Penly restent légèrement supérieures à celles mesurées à Flamanville et à Paluel qui sont du même ordre de grandeur. En été nous observons un gradient croissant ouest-est qui se dessine avec les valeurs maximales mesurées à Penly et minimales à Flamanville. En automne les valeurs sont homogènes. C'est sur le site de Penly que nous trouvons les plus fortes dispersions de valeurs pour les trois saisons comme nous l'avons décrit précédemment pour la biomasse (3.3.2.4). Au printemps, les plus fortes valeurs de production primaire observées à Paluel et Penly sont proches de 50 mg C/m<sup>3</sup>/h alors qu'à Flamanville elles sont inférieures à 10 mg C/m<sup>3</sup>/h.

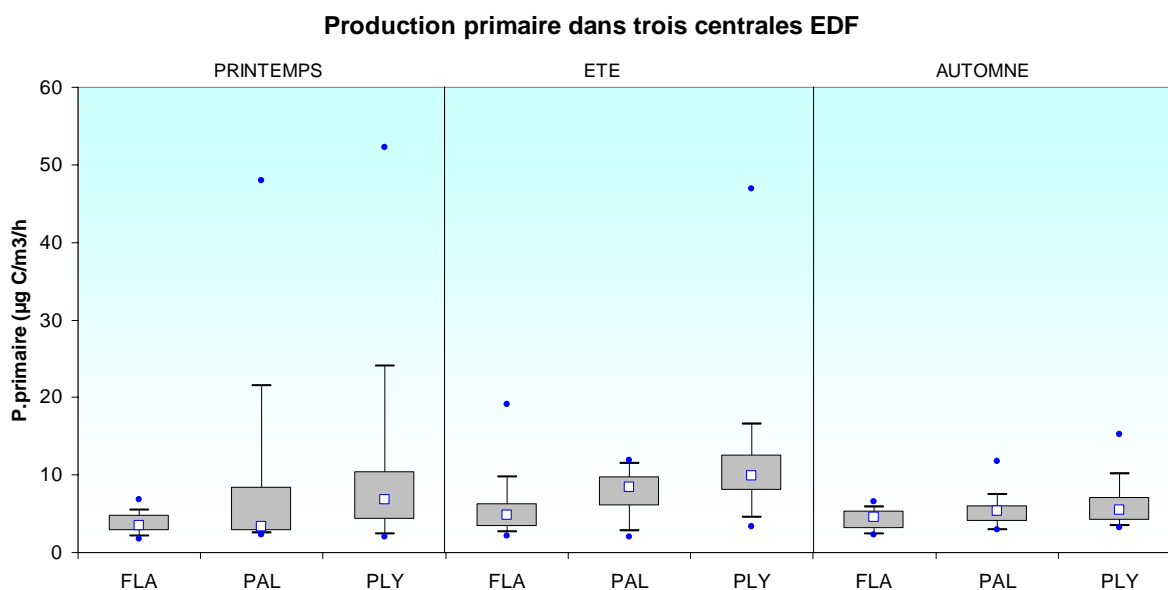


Figure 3.2.10 : Valeurs médianes en production primaire des points référence des centrales nucléaires de Flamanville Paluel et Penly sur la période 1990-2006

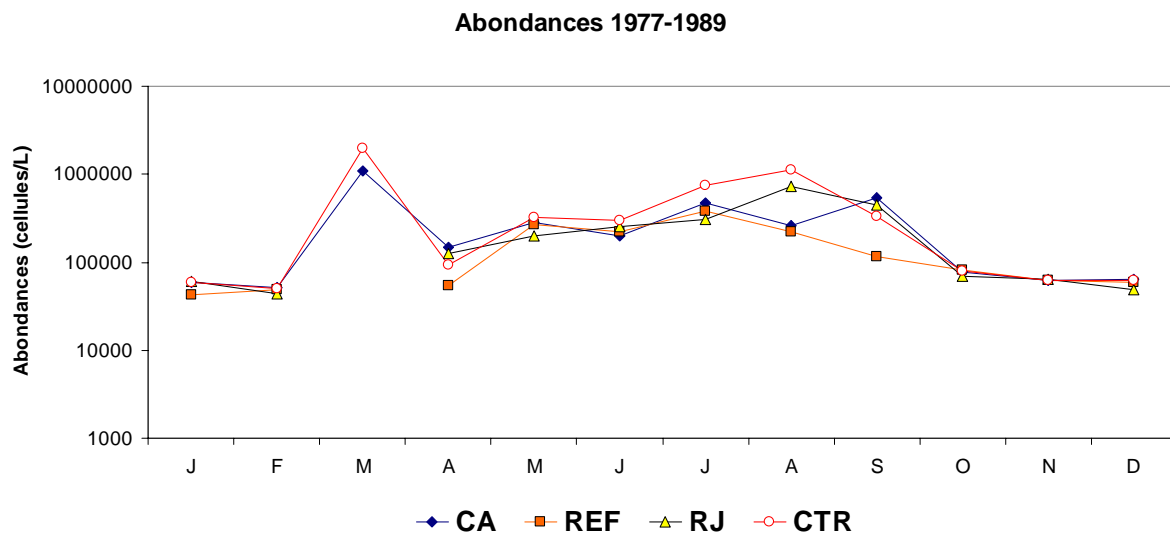
### 3.2.4 Abondances microphytoplanctoniques

Pour les dénombrements phytoplanctoniques, des échantillons de 100 mL sont fixés immédiatement au Lugol acide à bord du bateau. Au laboratoire, des fractions de 10 mL sont mises à décanter dans des cuves pendant 4 heures selon la technique d'Utermöhl (Utermöhl, 1958). L'identification et le comptage des espèces s'effectuent au microscope inversé à contraste de phase. Un minimum de 100 cellules est dénombré afin d'obtenir une précision de  $\pm 20\%$  (Lund, 1958).

Lors de l'étude de projet, les dénombrements phytoplanctoniques ont été réalisés sur deux classes de taille, le microphytoplancton (200 à 20 µm) et le nanophytoplancton (20 à 2 µm). Cette pratique a été abandonnée par la suite, lors des campagnes de surveillance, où seule la fraction microphytoplanctonique a été suivie. Le microphytoplancton, plus aisé à identifier au microscope optique, est composé des cellules de grande taille contenant plus de chla que les petites cellules du nanophytoplancton. Cependant, bien souvent il arrive que le nombre de cellules de petite taille compense leur faible contenu en chla, et cette fraction, souvent méconnue, prend toute son importance en terme de biomasse. Il se peut aussi que ce soit la fraction picophytoplanctonique (0,2 à 2 µm) qui devienne majoritaire quand les nutriments sont épuisés et les grandes cellules ne peuvent pas se développer (Lampert, 2001). Ce phénomène est plus particulièrement observé dans les eaux du large où les apports terrigènes et fluviaux deviennent négligeables et la stratification thermique est plus favorable.

### 3.2.4.1 Abondances avant la mise en service de la centrale (1977-1989)

L'étude des abondances phytoplanctoniques est réalisée sur la base des dénombrements de la fraction microphytoplanctonique des points Canal d'amenée (CA), Rejet (RJ), Contrôle (CTR) et Référence (REF) échantillonnés en surface en 1977, 1978, 1987, 1988 et 1989.



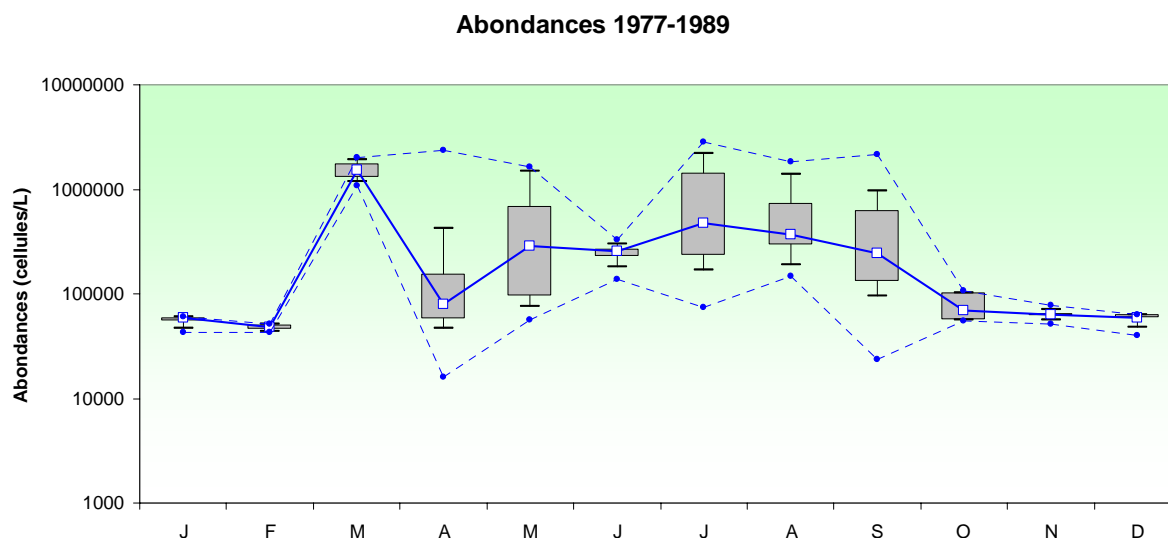
**Figure 3.2.11 : Médianes de l'abondance microphytoplanctonique dans l'eau de mer par point et par mois pour la période d'études 1977-1989**

L'évolution de l'ensemble de points est similaire tout au long de l'année (figure 3.2.11). Elle présente un maximum d'abondance, au mois de mars aux points contrôle et canal avec respectivement environ deux et un million de cellules/L. Le minimum est observé aux points référence et rejet en février et décembre avec entre 42000 et 49000 cellules/L.

Les valeurs d'abondance sont stables de novembre à février, elles sont maximales en mars, puis baissent en avril avant de remonter doucement à la fin du printemps et durant la période estivale. La valeur maximale estivale est de 746000 cellules/L en août au point contrôle. Les

abondances baissent ensuite à partir d'août ou de septembre et se stabilisent à une valeur faible en novembre (autour de 60000 cellules/L).

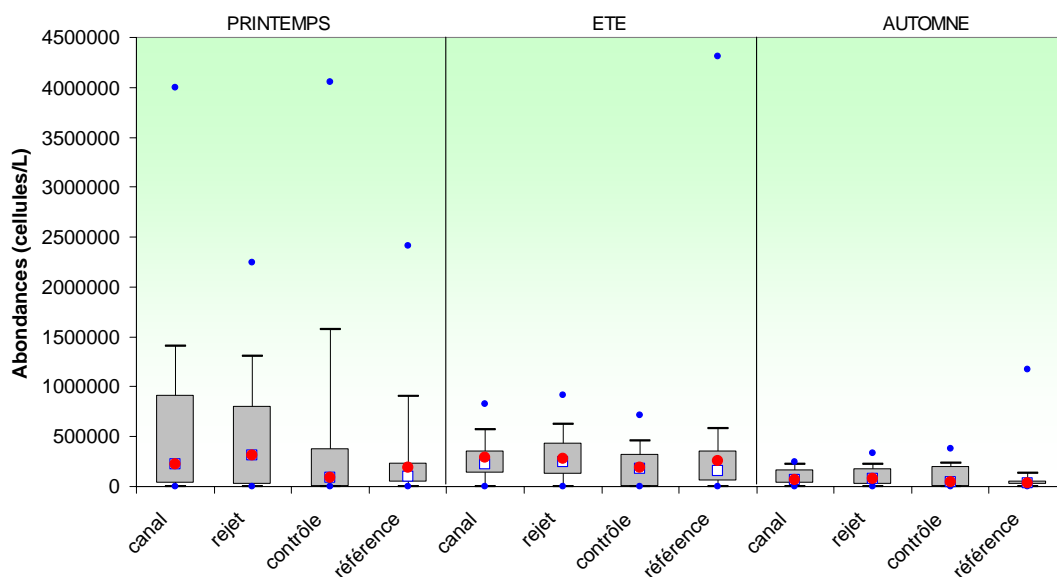
Bien que la variabilité soit relativement élevée certains mois (mai, juillet, septembre), la médiane générale de la figure 3.3.12 présente la même allure que celle de la figure 3.2.11. Nous pouvons noter que la variabilité est très faible pendant les mois hivernaux et en juin. La valeur médiane maximale a été observée en mars avec 1,54 million de cellules/L et les valeurs médianes minimum, proches de 60 000 cellules/L, ont été enregistrées en de novembre à février.



**Figure 3.2.12 : Distribution des abondances microphytoplanctoniques médianes dans l'eau de mer, tous points confondus et par mois, sur la période d'études 1977-1989, ainsi que les valeurs maximum et minimum observées**

### 3.2.4.2 Abondances après la mise en service de la centrale (1990-2009)

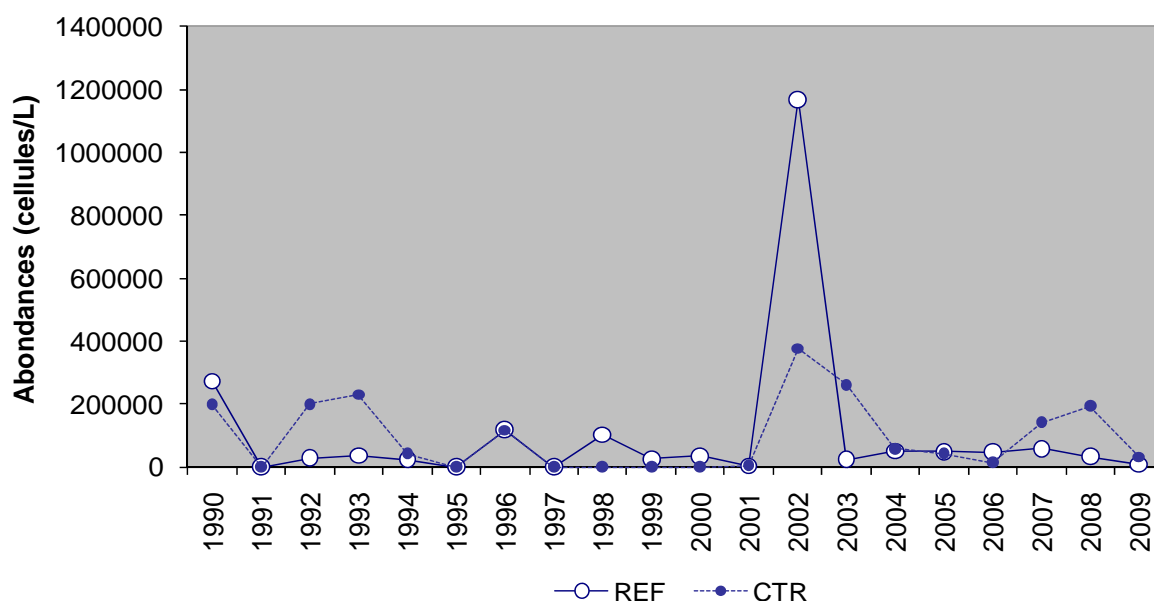
Les médianes des abondances de la période 1990-2006 sont du même ordre de grandeur que celles de la période 1977-1989 et suivent globalement le même schéma saisonnier. Aucune tendance saisonnière évidente des médianes n'apparaît (figure 3.2.13) ce qui est conforme à l'observation faite pour la biomasse chlorophyllienne (figure 3.2.3) et la production primaire (figure 3.2.8).



**Figure 3.2.13 : Médianes des abondances microphytoplanctoniques dans l'eau de mer sur la période d'études 1990-2009. Les points rouges représentent les valeurs observées dans la période 1977-1989**

Comme pour les médianes de chl<sub>a</sub>, la dispersion est plus forte au printemps en particulier au niveau du point canal et rejet, elle s'atténue en été et est faible en automne (figure 3.2.13). Cette dispersion se retrouve également au niveau de la production primaire. L'explication de cette dispersion printanière des valeurs est la même que celle décrite pour la Chl<sub>a</sub> (3.2.2.2). En effet, au printemps de fortes variations d'abondance ont lieu dans de brefs intervalles de temps, en fonction de la date d'échantillonnage les niveaux d'abondance peuvent donc être très variables.

### Abondances



**Figure 3.2.14 : Évolution des abondances microphytoplanctoniques aux points contrôle et référence du mois de septembre sur la période 1990-2009**

L'évolution de l'abondance aux points contrôle et référence au mois de septembre ne montre pas de tendances particulières sur les 20 années de suivi (figure 3.2.14). Aucune tendance à la hausse ou la baisse n'est remarquable. Nous pouvons cependant remarquer un pic remarquable en 2002 aux deux points avec une abondance qui a atteint respectivement 1,16 millions de cellules/L et 376000 cellules/L aux points références et contrôle. Ces fortes valeurs se retrouvent sur les données de Chla (3.2.4) et de production primaire (3.2.9) et sont le signe d'une importante efflorescence printanière à Penly en 2002.

### 3.2.4.3 Discussion

La reconnaissance des espèces microphytoplanctoniques et leur dénombrement demande une expertise, de l'expérience, une bonne base de références bibliographiques et un équipement (microscope) de qualité. Ce travail de détermination taxonomique et de comptage est long et fastidieux, peu répétable et fortement dépendant de l'opérateur. Tous ces facteurs « opérateur » dépendant s'ajoutent à la forte variabilité liée à l'échantillonnage. Il est important de connaître ces sources de variabilité pour interpréter ce type de données qui doivent s'accompagner d'indices de biomasse comme la Chla moins soumise au facteur « opérateur ». En été, quand les vents sont faibles, il est possible de voir des tâches de couleur sur la surface de la mer en forme de bandes étirées à des distances variant entre quelques mètres et quelques dizaines de mètres. Il s'agit bien souvent des populations phytoplanctoniques en fortes concentrations (parfois en bloom) qui sont dispersées par les vents et par la circulation à faible échelle (cellules de Langmuir par exemple). La validité des conclusions sur toute la zone d'études à partir des données de l'échantillon, sera entachée d'une forte incertitude. Un échantillon pris à quelques mètres ou dizaines de mètres de distance, peut alors, conduire à une interprétation écologique différente. Même dans un milieu dit 'homogène' d'un point de vue macroscopique, la distribution des cellules phytoplanctoniques ne l'est pas. A la petite échelle (1cm-1m) les organismes vivants se regroupent en *patches* et cette hétérogénéité vient encore compliquer l'inférence de l'échantillon sur la population. Une conséquence de ce phénomène est mise en évidence par les résultats divergents dans les comptages microscopiques effectués avec des cuves de décantation de faible volume (5 mL à 50 mL) issues d'une même bouteille de prélèvements. Malgré les inconvénients de la microscopie, l'avantage indiscutable des dénombrements microscopiques est de pouvoir atteindre le niveau du genre, voir parfois l'espèce. Ceci peut devenir indispensable dans le suivi des espèces 'marqueurs' des conditions écologiques ou des espèces nuisibles pour l'activité économique ou la santé humaine.

Les successions phytoplanctoniques qui ont lieu dans les eaux de la Manche et le proche Atlantique présentent des variations locales souvent très significatives à cause des raisons évoquées plus haut. Les diatomées sont dominantes à plus de 95 % et les dinoflagellés atteignent parfois des fortes abondances lors des efflorescences ponctuelles et très localisées géographiquement à la fin de l'été.

Depuis 1977 et jusqu'à présent nous avons pu observer une période hivernale où les espèces *Skeletonema costatum*, *Paralia sulcata*, *Thalassiosira sp.* sont souvent dominantes et partagent leur niche écologique avec des espèces plus cosmopolites telles que *Navicula sp.*, *Nitzschia sp.* et *Thalassionema sp.* Le printemps est marqué par des fortes efflorescences qui vont consommer rapidement le stock de nutriments dissous. Les espèces et genres les mieux représentés sont *Rhizosolenia spp.*, avec des efflorescences récurrentes de l'espèce *Rhizosolenia delicatula* (Klein et Sournia, 1987). Nous observons aussi *Pseudonitzschia sp.*, *Skeletonema costatum*, *Leptocylindrus sp.* et *Chaetoceros sp.* En été ce sont souvent des

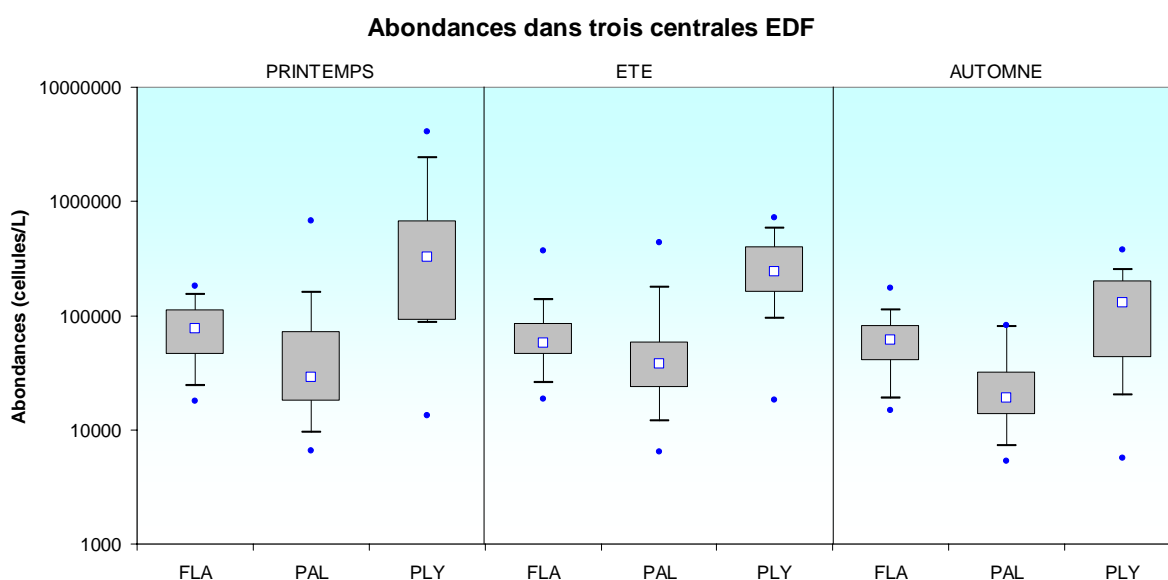


cellules de petite taille qui profitent mieux des faibles concentrations en nutriments qui vont se développer, comme *Chaetoceros socialis*, *Chaetoceros sp.*, et quelques rhizosoleniacées.

Les tendances et les valeurs des médianes des abondances avant et après la mise en service ne présentent pas de différences. Au regard de ces données, l'activité de la centrale n'est pas décelable à l'intérieur de la variabilité propre de ce paramètre dans le milieu et des incertitudes liées aux méthodes mises en œuvre.

### 3.2.4.4 Contexte local, régional ou global

Afin de donner un comparatif régional de l'évolution de l'abondance microphytoplanctonique dans le secteur de Penly, nous avons comparé les valeurs obtenues au niveau cette centrale à celles des autres centrales. Comme indiqué pour la biomasse, l'absence de point REPHY présentant de longue série temporelle dans la zone de Penly ne nous a pas permis de prendre en compte les données de ce réseau dans le comparatif.



**Figure 3.2.15 : Valeurs médianes d'abondances phytoplanctoniques des points référence des centrales nucléaires de Flamanville et Paluel, et du point contrôle à Penly sur la période 1990-2009**

La comparaison des médianes des abondances observées entre 1990 et 2009 à Penly avec celles des deux autres centrales nucléaires normandes montre le même schéma sur les trois saisons étudiées (figure 3.2.15). A Paluel nous enregistrons les plus faibles abondances, tandis que les plus élevées sont observées à la centrale de Penly. Les valeurs d'abondance de Flamanville se situent entre ces deux extrêmes. Les dispersions de valeurs sont homogènes à l'exception de la situation observée à Penly au printemps comme décrit pour la biomasse (3.2.5) et la production primaire (3.2.10).

### **3.2.5 Conclusions**

Lors de cette étude, la biomasse chlorophyllienne, la production primaire et les abondances phytoplanctoniques ont été suivies. Le suivi de ce compartiment qui est à la base du réseau trophique, permet de faire le lien entre les facteurs abiotiques (chimique, physique) de la colonne d'eau et le compartiment zooplanctonique, qui se situe à un niveau trophique supérieur (consommateurs primaires ou secondaires). Le phytoplancton, par le biais de la photosynthèse, va produire de la matière organique à partir de matière minérale et d'énergie lumineuse. Ce compartiment assure ainsi la majorité de la production primaire de carbone des océans. Compte tenu du fort taux de croissance et de renouvellement des communautés phytoplanctoniques, le suivi de ce compartiment montre une variabilité importante en particulier au moment des efflorescences printanières et automnales. De plus, les cellules phytoplanctoniques présentent une grande plasticité physiologique qui leur permet de s'adapter rapidement aux variations de l'environnement qui sont souvent soudaines dans les écosystèmes côtiers. Cette plasticité peut se traduire par des variations de la concentration en Chla par cellule ou par la modification des capacités de production primaire en réponse à des forçages environnementaux (lumière, nutriments, température etc.). L'évolution spatio-temporelle des trois paramètres étudiés est globalement similaire sur les séries de données obtenues avant et après la mise en service de la centrale. Comme expliquée et détaillée précédemment, la hausse printanière des biomasses de Chla après la mise en service de la centrale peut s'expliquer par la modification des stratégies de suivi.

Nous observons un cycle annuel du phytoplancton conforme à celui couramment décrit dans les écosystèmes côtiers des zones tempérées. Les faibles valeurs hivernales augmentent progressivement pour atteindre le maximum annuel de mai à juin. Il s'en suit une diminution progressive vers le minimum hivernal. Un sursaut automnal est souvent observé sous nos latitudes. Ce sursaut qui correspond aux efflorescences automnales est peu présent à Penly. Les valeurs de biomasse et d'abondance phytoplanctoniques sont du même ordre de grandeur que celles observées couramment dans la zone d'étude, on peut cependant noter que les biomasses observées à Penly sont plus élevées que celles observées dans la centrale voisine de Paluel et la variabilité des données y est supérieure. La zone de Penly présente donc une forte dynamique des communautés phytoplanctoniques. De plus, les valeurs observées au point rejet ne sont pas sensiblement différentes de celles enregistrées aux points canal, contrôle ou référence. La valeur médiane en chlorophylle du rejet au printemps (1990-2009) est toutefois supérieure à celles des autres points, ce qui peut s'expliquer la variabilité spatiale et par le décalage temporel entre l'entrée de l'eau via le canal d'amenée et le rejet de cette eau. En effet le canal d'amenée constitue un réservoir d'eau important qui entraîne un décalage de quelques heures entre l'entrée d'une particule d'eau au niveau du canal et sa sortie au niveau du rejet.

Les espèces identifiées avant et après les mises en service de la centrale sont les mêmes qui ont été observées dans les autres études locales (Paluel) et régionales (Flamanville). En conclusion, aucun des paramètres du compartiment phytoplanctonique n'a permis de mettre en évidence un déséquilibre du milieu généré par l'activité de la centrale de Penly avec les différentes stratégies mises en place dans ce suivi.

## 3.3 Le Zooplancton

### 3.3.1 . Introduction

Le zooplancton (du grec *zoon* = animal et *planao* = errer passivement) regroupe l'ensemble des organismes vivants de nature animale vivant en suspension dans l'eau et dont la capacité de nage ne leur permet pas de lutter contre les courants ou d'éviter un obstacle. La plupart des phyla invertébrés y sont représentés et comprennent plus de 36000 espèces. Le zooplancton est hétérotrophe, c'est à dire qu'il se nourrit de matière vivante, notamment de phytoplancton. Il occupe ainsi une position clé dans la chaîne alimentaire pélagique en permettant le transfert de l'énergie organique produite par le phytoplancton vers les niveaux trophiques supérieurs que sont les poissons, les crustacés benthiques, les oiseaux et les mammifères marins.

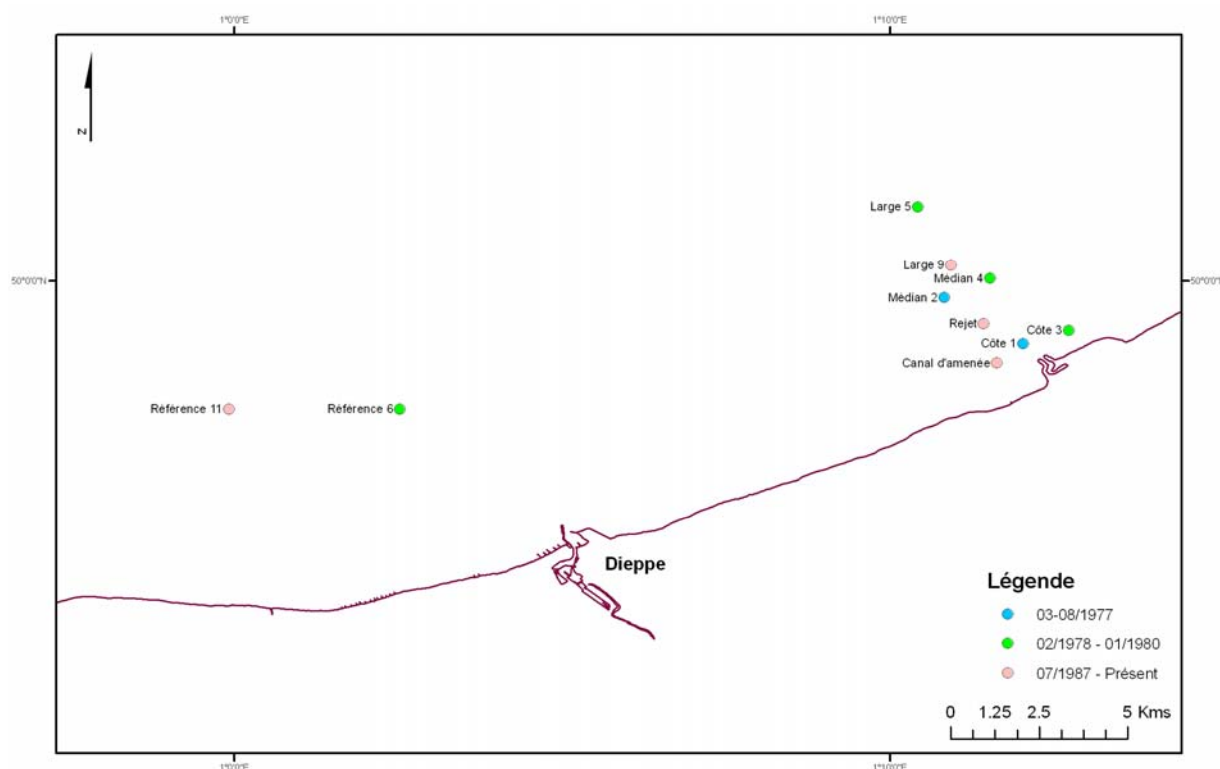
Les changements détectables dans l'abondance ou la composition des espèces du zooplancton peuvent refléter des changements fondamentaux dans l'environnement océanique affectant le phytoplancton. De même les changements dans les communautés zooplanctoniques de zooplancton peuvent donner des indications hâtives de changements imminents dans les conditions alimentaires des poissons, des oiseaux et des mammifères marins. Comme un grand nombre d'espèces de zooplancton a une durée de vie relativement courte et qu'elles peuvent avoir un taux de croissance élevé, elles réagissent rapidement aux perturbations environnementales qui influencent la diversité, comme les changements climatiques, les pollutions ponctuelles et la prédation.

### 3.3.2 Matériels et méthodes

On distingue trois grandes périodes d'échantillonnages dans l'étude du compartiment zooplanctonique sur le site de la CNPE de Penly (figure 3.3.1) :

- l'étude d'avant-projet allant de mars à août 1977 avec une fréquence mensuelle d'échantillonnage sur deux points (*côte 1* et *médian 2*),
- l'étude écologique de référence allant de février 1978 à janvier 1980 avec une fréquence mensuelle à bimensuelle d'échantillonnage sur quatre points (*côte 3*, *médian 4*, *large 5* et *référence 6*),
- L'étude de surveillance qui a débuté en 1987, trois ans après la mise en fonctionnement de la centrale, et qui est toujours en cours. Pour cette étude trois campagnes de prélèvements par année sont réalisées en mars, juin et septembre. Lors de chaque campagne, quatre points sont étudiés :
  - Le point *canal* (situé à l'entrée du canal d'amenée de la centrale)
  - Le point *rejet* (situé dans les turbulences du rejet)
  - Le point *contrôle* (situé au large du rejet)
  - Le point *référence* (situé au large, au-delà de la zone d'influence de la centrale)

Les échantillons zooplanctoniques sont collectés à l'aide d'un filet à plancton de type WP2 (ouverture 0,25 m<sup>2</sup>, hauteur 261 cm, cylindro-conique, vide de maille 200 µm – Tranter 968<sup>5</sup>). Le filet est descendu jusqu'à environ 3 mètres au dessus du fond puis est ramené à la surface à une vitesse de 1 m s<sup>-1</sup>. Un volucompteur est attaché à l'entrée du filet afin de connaître précisément le volume d'eau filtré. Pour chaque point de prélèvement deux traits de filet à plancton sont effectués. L'un des deux échantillons collectés est aussitôt filtré à bord sur des soies et congelé afin d'évaluer la biomasse sestonique (mesure du poids sec et composition en carbone et azote), l'autre échantillon est formolé en vue du dénombrement des espèces animales.



**Figure 3.3.1 : Localisation des points de prélèvement lors des 3 phases d'étude du zooplancton sur le site de la CNPE de Penly**

### 3.3.2.1 Mesure de la biomasse sestonique

Les prélèvements au filet à plancton destinés à la mesure de la biomasse sestonique sont filtrés immédiatement à bord sur des soies de 100 µm pré-pesées, congelées et transportées congelées au laboratoire. Selon la concentration des échantillons plusieurs soies peuvent être nécessaires pour un même échantillon. Ces soies sont ensuite séchées dans une étuve à 60 °C pendant 48 heures. Les soies comportant le plancton séché sont alors pesées et les poids secs, ou biomasses du ston, déduits. Le poids sec récolté et le volume filtré permettent d'évaluer le poids sec (mg) par unité de volume (m<sup>3</sup>).

<sup>5</sup> Tranter, D. J., and P. E. Smith. 1968. Filtration performance. In *Reviews on zooplankton sampling methods, Part I* (D. J. Tranter, ed.), p. 27-56. Monogr. Oceanogr. Methodol. 2, Zooplankton Sampling. UNESCO (United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization) Press, Paris.

### 3.3.2.2 Analyse taxinomique

Les prélèvements zooplanctoniques destinés au dénombrement des espèces animales sont rincés sur un tamis de 200  $\mu\text{m}$  afin d'éliminer le formol et les particules les plus fines qui gênent le comptage du zooplancton. En fonction de la concentration de l'échantillon celui-ci est fractionné en sous-échantillons à la boîte de Motoda (Motoda 1983)<sup>6</sup>. Le sous-échantillon est alors placé dans une cuve de Dollfus et dénombré dans sa totalité à la loupe binoculaire (grossissement maximum X 80) en éclairage diascopique. Le dénombrement s'arrête lorsque une classe de tri (*Temora longicornis* : femelle, mâle ou copépodite ; *Oikopleura dioica* ; nauplii de cirripèdes....) atteint un minimum de 100 individus. D'après Frontier (1972)<sup>7</sup> l'erreur relative sur l'estimation du nombre total d'individus est de  $\pm 30\%$ . Le nombre d'individus comptés est ensuite ramené au volume total de l'échantillon ( $\text{ind. m}^{-3}$ ).

La bibliographie utilisée pour l'identification des zooplanctontes est très variée et inclue notamment : les fiches d'identification du plancton CIEM - (1939 - 1986), un manuel d'identification du zooplancton côtier (Todd *et al.*, 1996)<sup>8</sup>, et des clés de détermination pour des groupes spécifiques tels que les copépodes pélagiques (Rose, 1933)<sup>9</sup> ou les larves de décapodes (Martin, 2001)<sup>10</sup> par exemple.

### 3.3.3 Résultats

#### 3.3.3.1 Biomasse sestonique

On appelle seston, l'ensemble des particules en suspension dans l'eau qu'elles soient d'origine minérale ou organique. Dans les eaux du large ou dans des milieux oligotrophes, peu turbides, le seston récolté avec un filet à plancton est essentiellement constitué de zooplancton et sa biomasse peut donc être assimilée à celle du zooplancton. Par contre dans les eaux côtières, souvent peu profondes (< 40 m), avec un fort hydrodynamisme le seston comprend également une part non négligeable de sables, vases, débris végétaux, etc. due à la remise en suspension des sédiments dans la colonne d'eau. Dans ce cas il est difficile d'attribuer la biomasse sestonique à celle du zooplancton.

L'analyse de la biomasse sestonique n'a été introduite qu'à partir de la 2<sup>ème</sup> période d'étude (1978).

##### 3.3.3.1.1 Variations de la biomasse sestonique entre les points de prélèvement selon les saisons

L'évolution saisonnière de la biomasse sestonique (poids sec) au cours de l'étude de référence de 1978 est présentée figure 3.3.2. La biomasse sestonique était comprise entre 6,2  $\text{mg m}^{-3}$  au point *référence* en février et 195,9  $\text{mg m}^{-3}$  au point *référence* en août. Une plus grande variabilité entre les quatre points de prélèvement était observée en été. Le reste de l'année la

<sup>6</sup> Motoda S (1959). Devices of simple plankton apparatus. Memoirs. Faculty of Fisheries. Hokkaido University 7, 73-94.

<sup>7</sup> Frontier (1972) Calcul de l'erreur sur un comptage de zooplancton. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 8, pp. 121-132.

<sup>8</sup> Todd CD, Laverrack MS, Boxshall GA (1996) Coastal marine zooplankton – a practical manual for students. Cambridge University Press, pp. 106.

<sup>9</sup> Rose M. (1933) Faune de France, 26. Copépodes pélagiques. Ed. Lechevalier, Paris, pp. 374.

<sup>10</sup> Martin J (2001) Les larves des crustacés décapodes des côtes françaises de la Manche. IFREMER, France, pp. 175.

biomasse sestonique était semblable entre ces points, à l'exception du point *côte* au mois de février où la biomasse était beaucoup plus élevée qu'aux trois autres points.

Les biomasses sestoniques observées depuis le début de l'étude de surveillance en 1987 (figure 3.3.3) sont du même ordre de grandeur que lors de l'étude de référence, comprises entre 3,0 et 282,7 mg m<sup>-3</sup>. Les plus fortes dispersions des valeurs de la série 1987-2009 ont été observées pour les campagnes printanières et estivales (figures 3.3.3 et 3.3.4). Les biomasses sestoniques sont en général toujours plus faibles en automne, ce qui était aussi le cas lors de l'étude de référence de 1978 (figure 3.3.4).

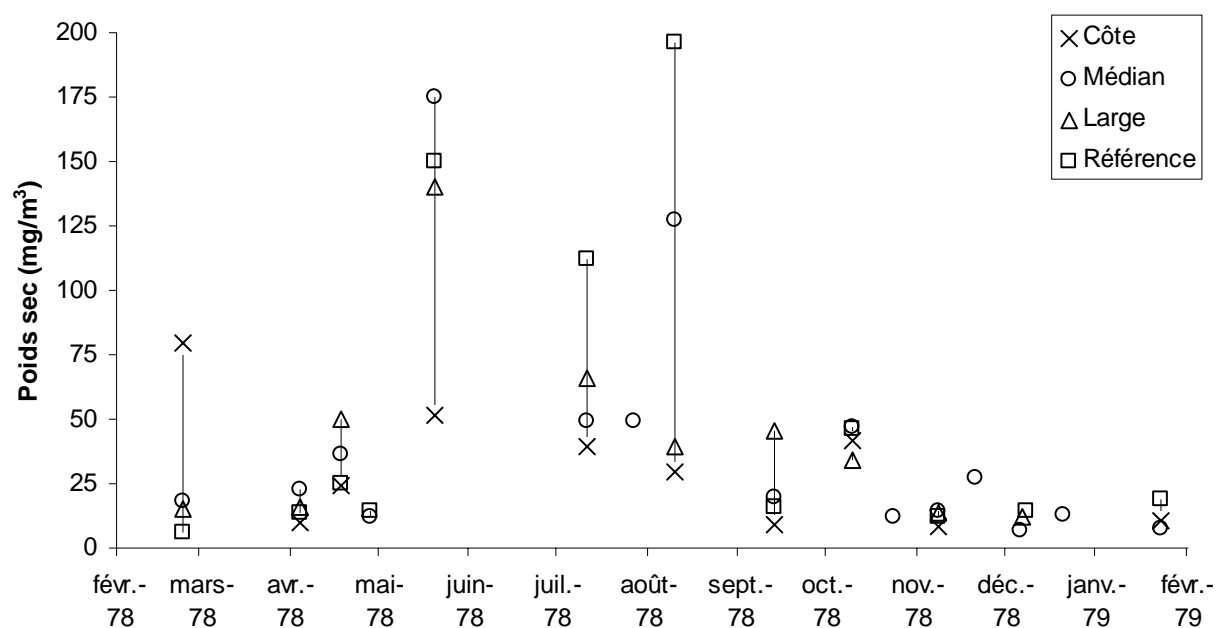


Figure 3.3.2 : Évolution de la biomasse sestonique (poids sec) au cours de l'étude de référence de 1978

### 3.3.3.1.2 Approche statistique

Pour vérifier si la biomasse sestonique est significativement différente entre les points de prélèvement, une analyse de variance à un critère de classification (ANOVA one-way) a été appliquée sur la série temporelle après normalisation des variables par transformation log (x) et vérification de l'homogénéité des variances (test de Bartlett). Les résultats des tests statistiques sur l'ensemble des valeurs acquises depuis 1987 sont présentés dans le tableau 3.3.1.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTE	AUTOMNE
n	77	92	92
P	0,325	0.034	0.009

( $p < 0,05$  = différence significative ; n = nombre de données)

Tableau 3.3.1 : Probabilité associée  $p$  des tests statistiques sur la biomasse de 1987 à 2009

Au printemps les biomasses sestoniques ne sont pas significativement différentes d'un point à l'autre. Les biomasses sestoniques estivales et automnales observées depuis 1987 sont significativement différentes entre les points de prélèvement. Une analyse post-hoc de comparaison multiple (test de Tuckey) montre que c'est la moyenne des biomasses du point

**Synthèse hydrobiologique du site du C.N.P.E. de Penly**  
**Chapitre 3 – Le domaine pélagique**

*canal* qui est significativement plus faible par rapport aux autres points. En 1978 aucune différence significative n'avait été observée entre les points de prélèvement. Les différences observées au point *canal* sont probablement liées à la situation géographique de ce point qui a une profondeur faible (<3m) et qui se trouve relativement abrité par la digue protégeant la centrale.

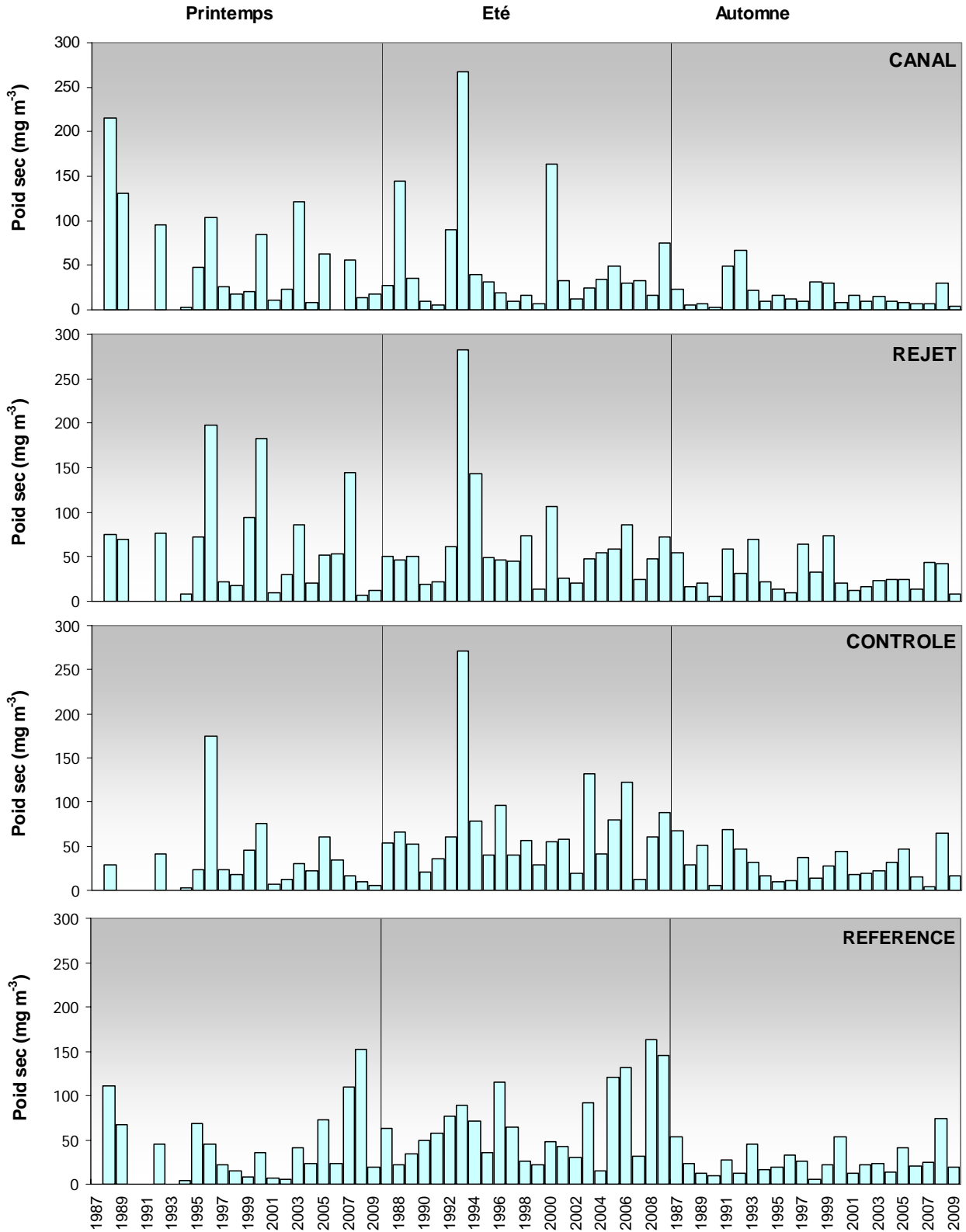
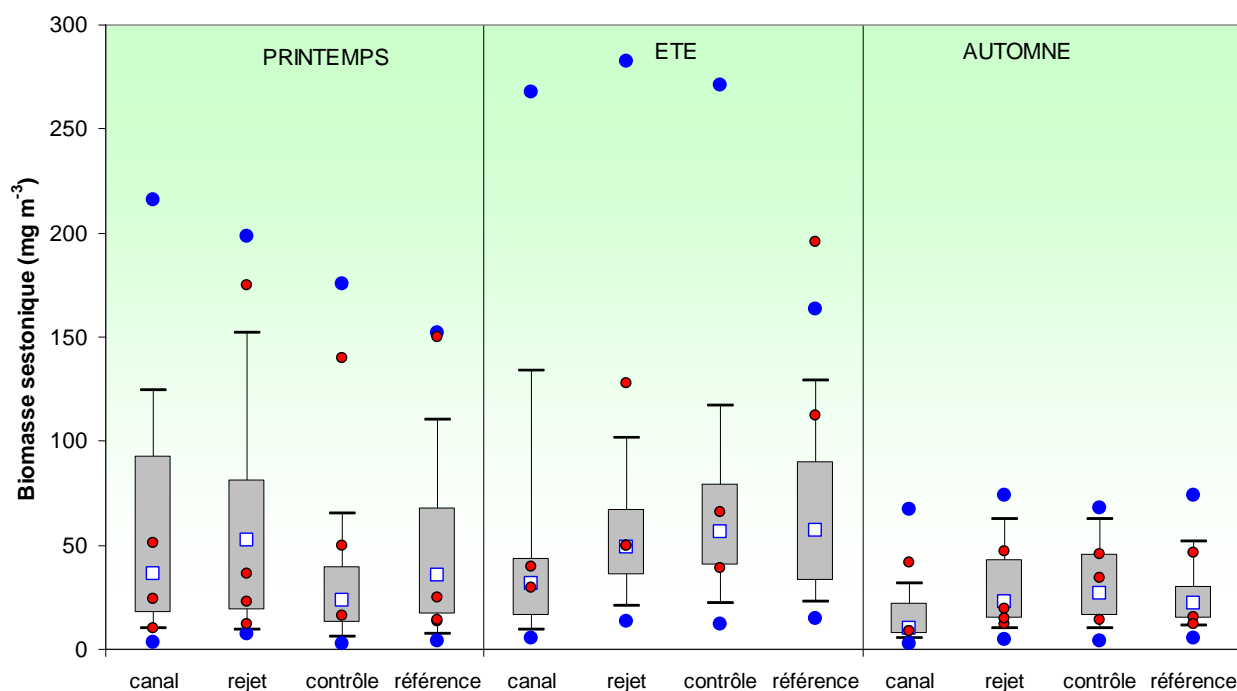


Figure 3.3.3 : Évolution de la biomasse sestonique (poids sec) par point de 1987 à 2009



**Figure 3.3.4 : Variation de la biomasse sestonique de 1987 à 2009 par point (boîtes à moustache et points bleus) et de 1978 (points rouges)**

### 3.3.3.2 Abondances zooplanctoniques globales

Les dénombrements et l'identification des espèces zooplanctoniques permettent d'observer les variations de l'abondance et de la composition taxonomique de ces populations entre les points de prélèvements lors de trois situations saisonnières contrastées (printemps, été et automne).

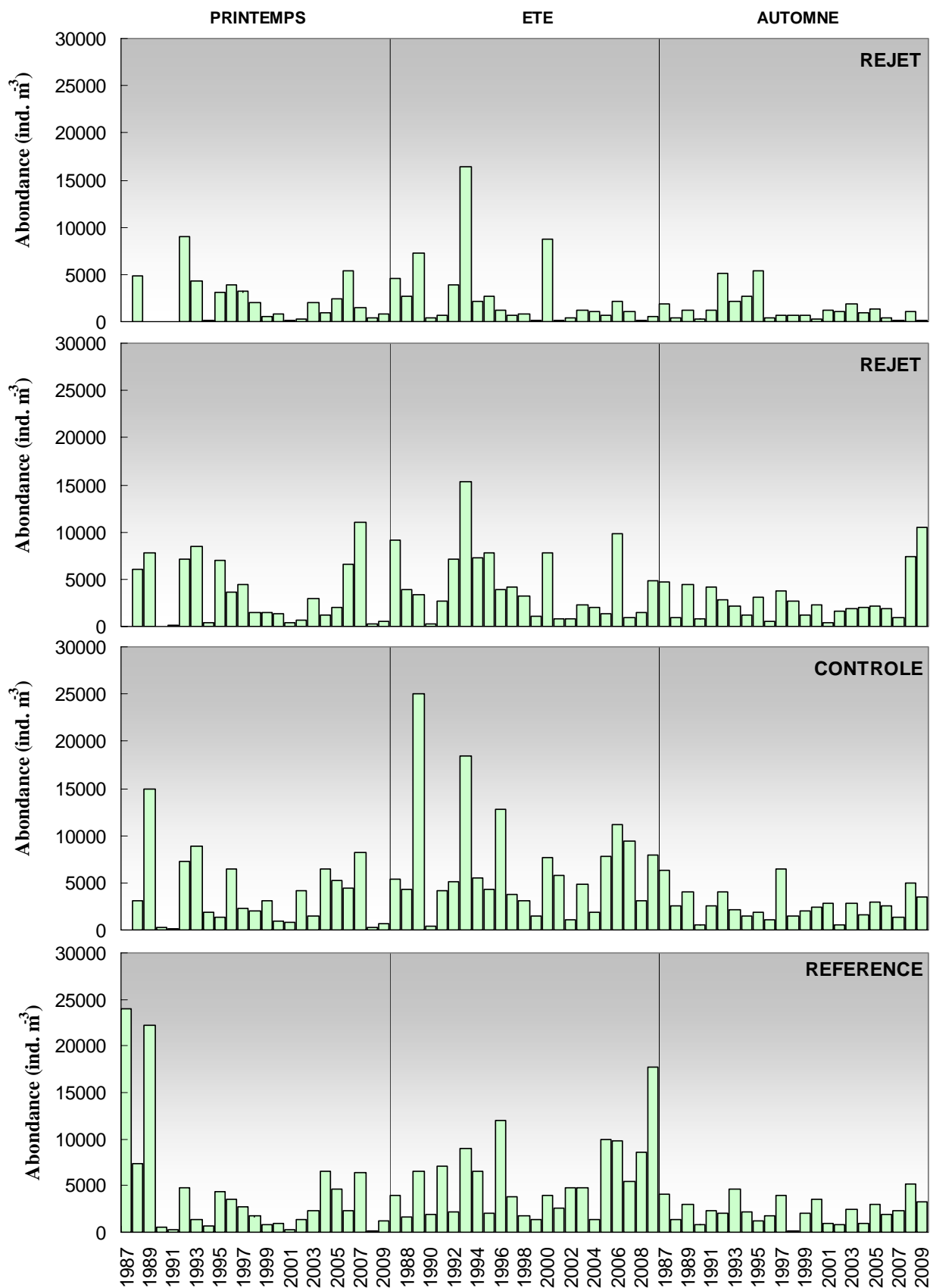
#### 3.3.3.2.1 Variations de l'abondance zooplanctonique totale entre les points de prélèvement selon les saisons

Les abondances zooplanctoniques observées depuis 1987 sont souvent plus importantes lors des missions de juin (figure 3.3.5). L'abondance maximale observée étant de 25 032 ind. m<sup>-3</sup> au point *contrôle* en juin 1989.

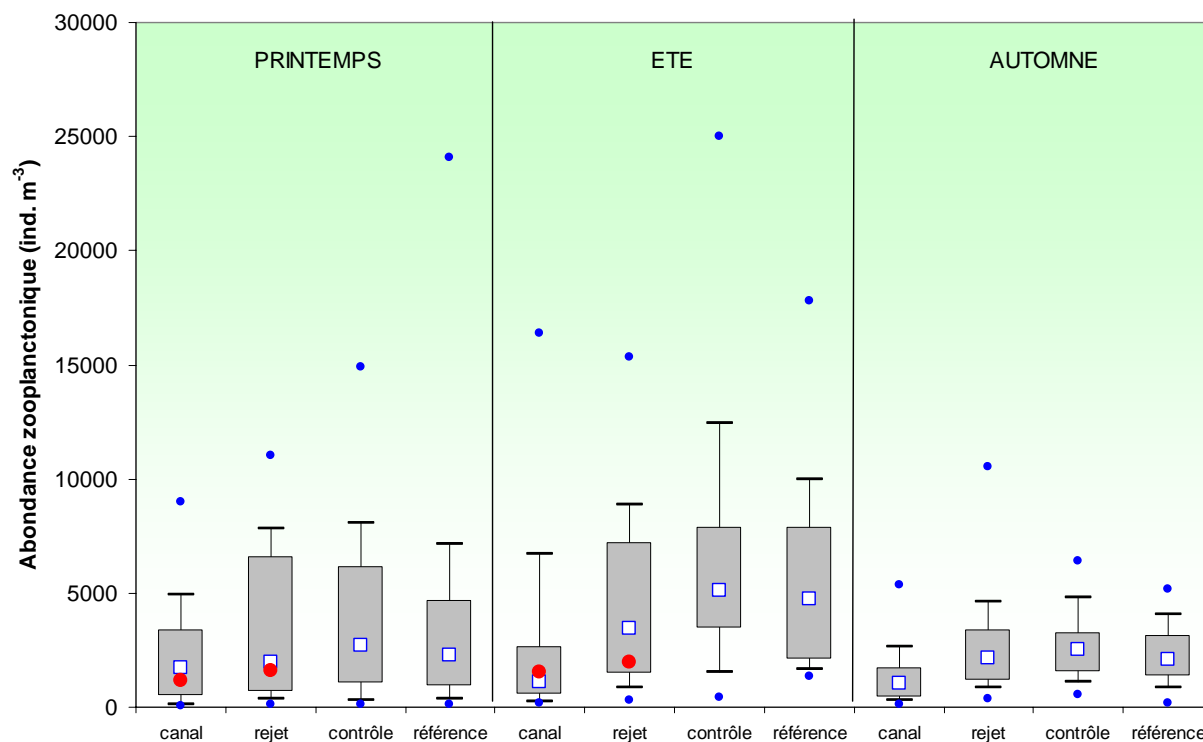
Les plus fortes dispersions de valeurs de la série 1987-2009 sont observées pour les campagnes printanières et estivales aux points *rejet*, *contrôle* et *référence* traduisant ainsi la forte variabilité interannuelle des abondances zooplanctoniques sur ces points (figure 3.3.6). Comme on l'a vu pour la biomasse sestonique, l'évolution interannuelle montre que les abondances sont en général plus faibles en automne. Les abondances zooplanctoniques totales observées durant la période d'avant projet en 1977 correspondent aux valeurs moyennes relevées depuis la période de surveillance (figure 3.3.6, points rouges).



**Synthèse hydrobiologique du site du C.N.P.E. de Penly**  
**Chapitre 3 – Le domaine pélagique**



**Figure 3.3.5 : Évolution de l'abondance zooplanctonique de 1987 à 2009**



**Figure 3.3.6 : Évolution de l'abondance zooplanctonique de 1987 à 2009 (boîtes à moustache et points bleus) et en 1977 (points rouges)**

### 3.3.3.2.2 Approche statistique

Pour comparer les abondances zooplanctoniques entre les points *canal*, *rejet*, *contrôle* et *référence* à chaque saison, une analyse de variance à un critère de classification (ANOVA one-way) a été appliquée sur la série temporelle après normalisation des variables par transformation log (x) et vérification de l'homogénéité des variances (test de Bartlett). Les résultats des tests statistiques sur l'ensemble des valeurs acquises depuis 1987 sont présentés dans le tableau 3.3.2.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTE	AUTOMNE
<i>n</i>	86	92	91
<i>p</i>	0,397	0,000	0,001

(*p* < 0,05 = différence significative ; n = nombre de données)

**Tableau 3.3.2 : Probabilité associée *p* des tests statistiques sur les abondances de 1987 à 2009**

Les résultats des tests indiquent que les abondances zooplanctoniques printanières ne sont pas significativement différentes d'un point à l'autre. Par contre, en été et en automne l'ANOVA montre qu'il existe une différence significative d'abondance selon les points de prélèvement. Une analyse post-hoc de comparaison multiple (test de Tuckey) montre que c'est la moyenne des abondances du point *canal* qui diffère de manière significative avec celles des points *rejet*, *contrôle* et *référence*. Comme observé sur les figures 3.3.5 et 3.3.6, le point *canal* semble donc bien être caractérisé par des abondances zooplanctoniques plus faibles que pour les autres points de prélèvement. Ceci va dans le sens de ce qui est observé pour la biomasse sestonique.

### 3.3.3.3 Etude faunistique

#### 3.3.3.3.1 *Holoplancton et méroplancton*

Un certain nombre d'espèces accomplissent l'intégralité de leur cycle biologique (œufs, larves, adultes) au sein du milieu pélagique ; ce sont les espèces holoplanctoniques. Les crustacés copépodes représentent généralement une part importante de cette fraction. Selon la saison, s'y ajoutent quelques espèces moins abondantes, appartenant à d'autres embranchements comme les cladocères, les appendiculaires et les chaetognathes.

Par opposition à l'holoplancton, le méroplancton constitue la fraction temporaire du zooplancton, il regroupe les organismes dont seule une partie du cycle vital est planctonique. Il s'agit principalement de larves à vie pélagique émises par de nombreuses espèces à phase adulte benthique (crabes, annélides, mollusques, balanes...) ou à phase adulte néritique (œufs et larves de poisson). Le méroplancton est aussi constitué de phases pélagiques d'espèces fixées (méduses, qui représentent les phases sexuées libres de cnidaires). De ce fait le méroplancton est plus abondant au printemps et en été, pendant les périodes de reproduction des espèces benthiques (figure 3.3.7).

Du fait du caractère soudain et bref de l'apparition du méroplancton, en particulier des larves pélagiques, il peut arriver que certaines années la campagne en mer ait lieu au moment du pic d'émission de ces larves (ex : printemps 2006 et 2008, caractérisés par de nombreuses larves de mollusques et de cirripèdes), alors que pour d'autres années on n'observera pas de pic d'émission. De ce fait ces échantillons ne doivent pas être regardés comme une indication de l'évolution saisonnière interannuelle de l'abondance des divers taxons zooplanctoniques, mais plutôt comme un moyen d'observer les variations entre les points de prélèvement échantillonnés le même jour.

On remarque alors qu'en période automnale l'holoplancton domine largement (>70%) la communauté zooplanctonique à tous les points de prélèvement. Par contre au printemps les abondances de larves méroplanctoniques sont plus importantes aux points côtiers (*canal* et *rejet*) du fait de la proximité des adultes benthiques.

#### 3.3.3.3.2 *Les copépodes*

Les copépodes représentent le groupe zooplanctonique dominant de l'holoplancton et de ce fait les variations d'abondances des copépodes reflètent le plus souvent celles de l'holoplancton (figure 3.3.8).

Parmi les principales espèces de copépodes présentes sur le site de la centrale de Penly on trouve les espèces caractéristiques des eaux tempérées en milieu côtier. Les deux espèces les plus abondantes sont *Acartia clausi* et *Temora longicornis*. La première est une espèce plutôt estivale et automnale, alors que la deuxième est présente en général toute l'année, mais dominante dès la fin du printemps et en été. *Centropages hamatus* est également présent toute l'année mais avec des abondances beaucoup plus faibles. Les prélèvements printaniers et estivaux sont également caractérisés par *Pseudocalanus elongatus* qui sera peu à peu remplacé par *Paracalanus parvus* qui marque ainsi le passage à la période automnale.

Les communautés automnales de copépodes sont également caractérisées par des espèces de taille plus petites comme *Euterpina acutifrons* et diverses espèces de cyclopoïdes.

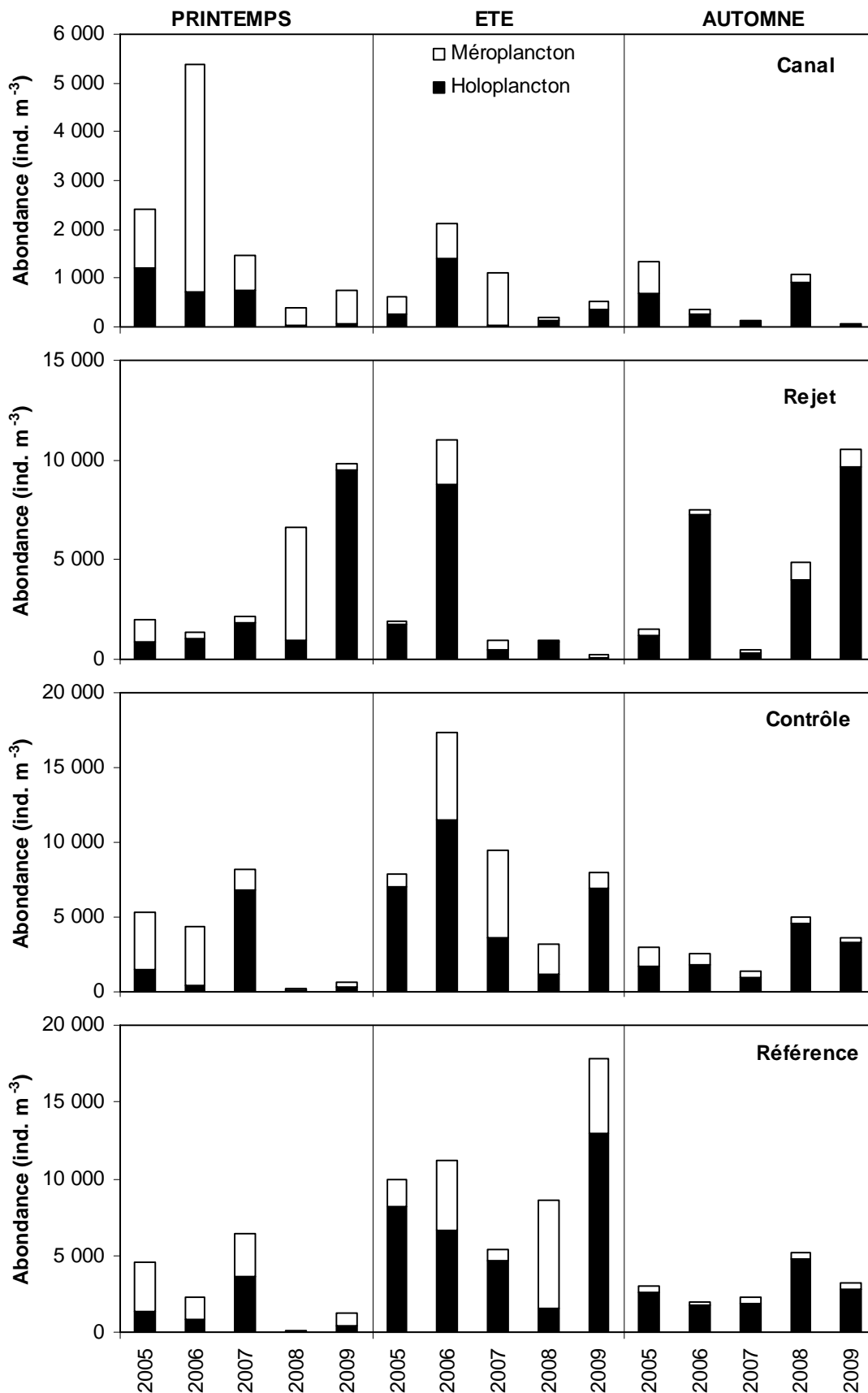
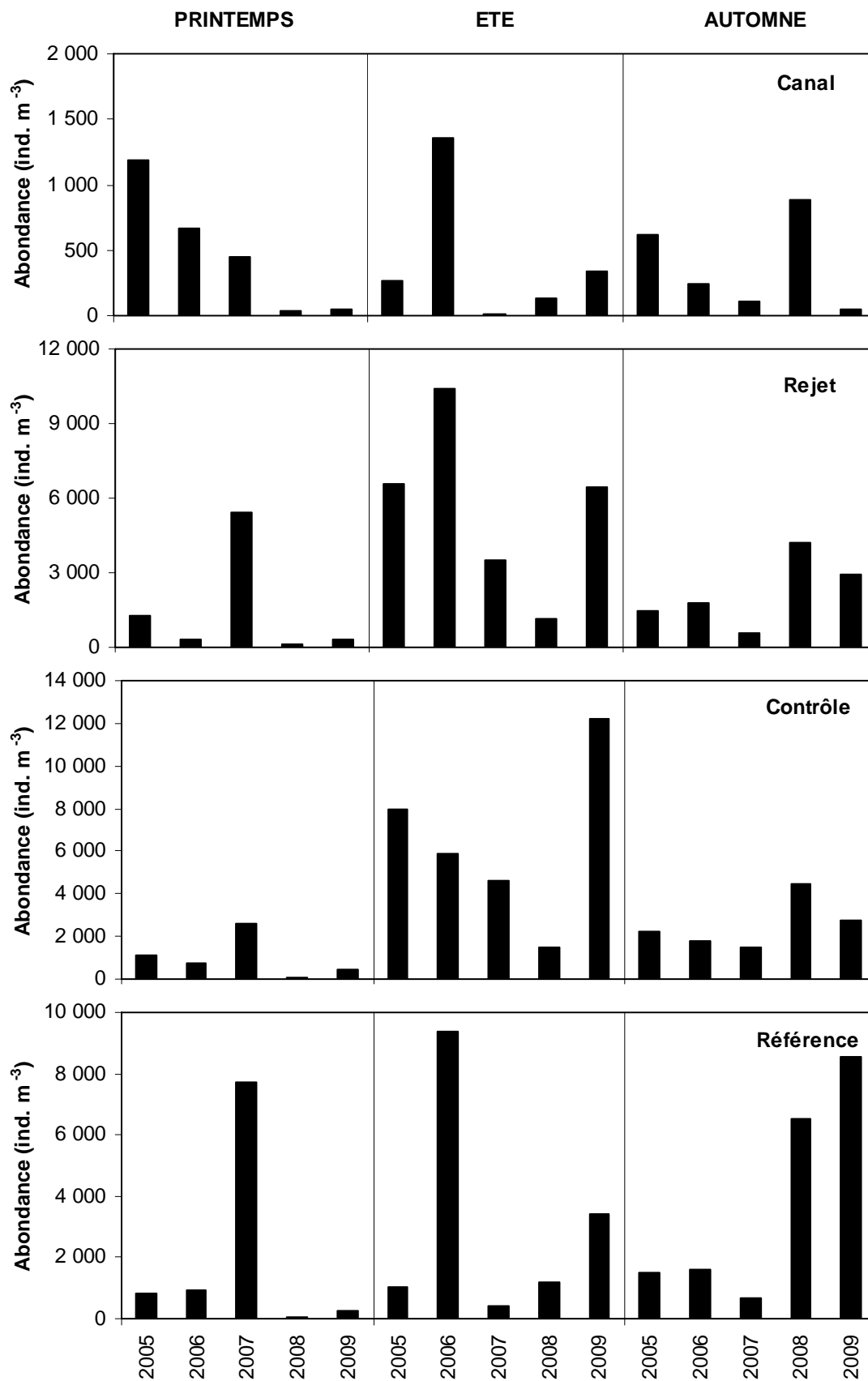


Figure 3.3.7 : Abondance de l'holoplankton et du méroplancton dans le zooplancton total depuis 2005



**Figure 3.3.8 : Abondance des copépodes (adultes et copépodites) depuis 2005**

### **3.3.4 Conclusions**

La surveillance zooplanctonique du site de Penly, toujours en cours depuis 1987, n'a pas pour objectif de suivre l'évolution saisonnière du zooplancton. L'objectif ici est plutôt d'observer lors de trois situations annuelles la communauté zooplanctonique en quatre points plus ou moins impactés par les rejets de la centrale, et de voir si les différences observées peuvent être le signe d'une perturbation liée au fonctionnement de la centrale ou bien à la variabilité naturelle dans l'environnement.

Les seules différences significatives que l'on observe concernent les mesures de biomasse sestonique et les abondances totales du zooplancton relevées au point *canal* au printemps et en été. Celles-ci sont en générales plus faibles que ce que l'on observe aux points *rejet*, *contrôle* et *référence*. La configuration particulière à l'entrée du canal d'amenée de l'eau vers la centrale, protégée par les digues et de faible profondeur (< 3m), peut expliquer ces variations. Il est en effet assez difficile de déployer le filet à plancton sur ce point, et le volume d'eau filtré est souvent moindre comparé aux autres points de prélèvement.

Aucune différence significative de biomasse ou d'abondance n'est observée pour les autres points de prélèvements, ainsi qu'entre les quatre points de prélèvements en période automnale. Lorsque l'on compare avec l'étude de référence de 1978, on observe que les biomasses sestoniques sont du même ordre de grandeur et que par conséquent le fonctionnement de la centrale n'a pas entraîné de modification visible à long terme sur la quantité de seston présent dans la colonne d'eau. De même les abondances zooplanctoniques observées lors de la période d'étude d'avant-projet en 1977 sont semblables à celles que nous observons en moyenne depuis 1987.

De plus l'abondance et la succession des espèces zooplanctoniques observées depuis 1987 sont cohérentes avec les observations qui avaient été faites de 1977 à 1978 et restent caractéristiques des milieux côtiers de la Manche et de la baie sud de la Mer du Nord. Rien de ce que l'on observe sur le zooplancton depuis la mise en fonction de la centrale de Penly, ne nous permet de conclure sur un éventuel impact négatif à long terme de la centrale sur les communautés zooplanctoniques.

## **4 Le domaine benthique - Compartiment sédimentologique**

*Philippe Clabaut (Géologie Littorale et Marine, Consultant)*





## 4.1 Introduction

Dans le cadre de l'implantation et du suivi de la centrale électronucléaire de Penly, le site a fait l'objet de plusieurs phases d'études sédimentologiques :

- En 1976, **l'étude d'avant-projet** de la centrale de Penly s'appuie en particulier sur la cartographie générale des fonds de la Manche, par Larssonneur *et al.*, basée sur l'analyse granulométrique de sédiments superficiels prélevés à la benne,
- En 1978-1979, **l'étude de projet** comporte notamment un descriptif morphologique et sédimentologique des estrans, mais pas de travaux spécifiques en mer,
- En 1988 – 1989, dans le cadre des **études de surveillance avant fonctionnement de la centrale**, les techniques mises en oeuvre, notamment le sonar à balayage latéral, ont permis de dresser, un état de référence de la nature et de la morphologie des fonds.
- En 1992, 1996, 2000, 2004 et 2008, dans le cadre des **études de surveillance après mise en service de la centrale**, le suivi a consisté en une cartographie morpho-sédimentaire d'un secteur compris entre Dieppe et Criel-Sur-Mer, de la côte jusqu'à 2 milles au large. Ces campagnes de cartographie ont contribué à mettre en évidence l'évolution des fonds et à préciser les modifications majeures du secteur.

Elles font du secteur de Penly le seul site civil français à avoir fait, à ce jour, l'objet de levés multiples à l'aide de ces techniques. La reprise de ce protocole dans un premier temps par le REBENT (Réseau national benthique, créé suite au naufrage du pétrolier Erika), plus récemment comme moyen de description totale ou partielle des Aires Marines Protégées (AMP) permettra d'augmenter significativement et rapidement le nombre de sites ainsi décrits et surveillés.

Outre les rapports produits lors de chaque levé, **une carte des formations superficielles** entre Dieppe et le Tréport, basée sur l'état du site en 1988 – 1989, a été éditée (*Augris et al, 1993*).

Un **ouvrage de synthèse sur le domaine littoral et marin de la Seine-Maritime**, basé notamment sur le suivi du secteur de Penly entre 1988 et 2000 a ensuite été réalisé (*Augris et al, 2004*). L'approche pluri-disciplinaire (géologues, géographe, hydrodynamicien) adoptée a notamment permis l'analyse des évolutions du site, et la compréhension des mécanismes naturels à l'origine de ces évolutions.

## 4.2 Présentation du site : contexte géographique, géologique et sédimentologique (d'après Augris et al, 2004, modifié)

Le Centre de Production Electro-Nucléaire de Penly se situe sur la côte d'Albâtre, qui borde la Manche orientale sur 130 km de long, depuis la baie de Seine au Sud-Ouest, jusqu'aux abords de la baie de Somme au Nord-Est (Fig.4.1). Plus précisément, le domaine étudié dans le cadre du suivi se situe entre Dieppe et Criel-Sur-Mer, distants de 20 km.

Les falaises, d'altitude moyenne de 70 m et dont le recul moyen actuel est de l'ordre de 20 cm par an, sont localement interrompues par des vallées suspendues (valleuses) ou de profondes vallées drainées dans lesquelles se sont implantées préférentiellement les populations et leurs activités.

Au pied des falaises, se développe un platier rocheux dont la partie supérieure est masquée par un mince cordon de galets, alors que le bas et la partie médiane de l'estran sont parfois recouverts de petits placages sableux.

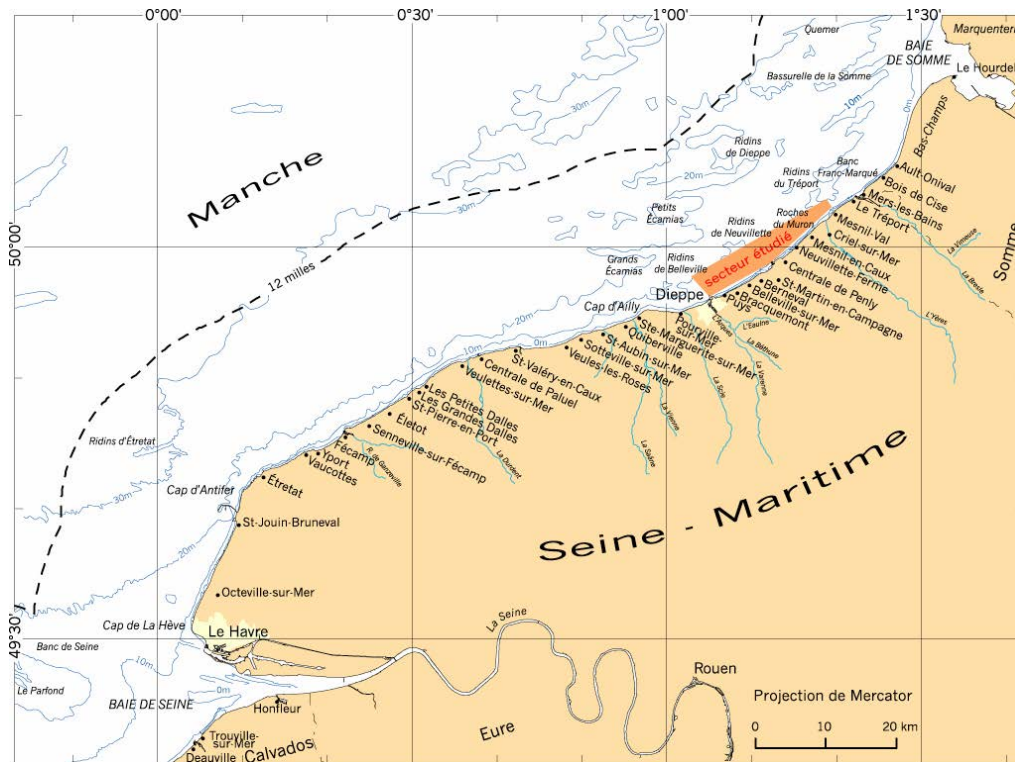


Figure 4.1: Carte du littoral de Seine-Maritime et localisation du site

### 4.2.1 Caractéristiques géologiques des falaises

Le littoral de la Seine-Maritime correspond à la terminaison nord-occidentale du bassin sédimentaire de Paris. Il est caractérisé par l'affleurement des terrains crayeux d'âge crétacé supérieur, du Turonien (91 Ma\*) au Campanien (83 Ma).

La morphologie de falaise dominante, observée entre Belleville et Le Tréport (Fig.4.2), est une falaise verticale dans sa partie supérieure (calcaire sans silex du Sénonien), et de forme concave dans sa partie inférieure (Calcaire à silex plus dur, du Sénonien)-

La structure géologique majeure du secteur, qui se prolonge en mer (Mégnyen & Mégnyen, 1980) est l'anticlinal de Berneval-Londinières ; Celui-ci fait affleurer à la base des falaises et sur la plate-forme d'érosion marine les craies sans silex du Turonien



Figure 4.2 – Photographie des falaises aux abords de Penly (Cliché Ph. Clabaut, Mai 2008)

### 4.2.2 Caractéristiques des estrans

Entre Penly et Le Tréport, l'estran, d'une largeur de l'ordre de 200 m, est occupé dans sa partie supérieure par des cordons de galets adossés aux falaises. Ces cordons ont généralement une largeur faible (15 à 20 m) et une épaisseur d'environ 2 à 2,5 m, mais peuvent avoir un volume plus important lorsqu'un ouvrage transversal (épi ou jetée) bloque le transit et individualise des cellules hydro-sédimentaires.

Pour le littoral de la Seine-Maritime, le système hydro-sédimentaire s'étendait, à l'origine et pour les galets, depuis le cap d'Antifer jusqu'à la baie de Somme. Cette cellule a été sectionnée en sous-cellules (Fig. 4.3) délimitées par les jetées portuaires de Fécamp, Saint-Valéry-en-Caux, Dieppe, Le Tréport et, plus récemment, par les jetées des centrales EDF de Paluel et de Penly (Costa, in Augris et al., 2004).

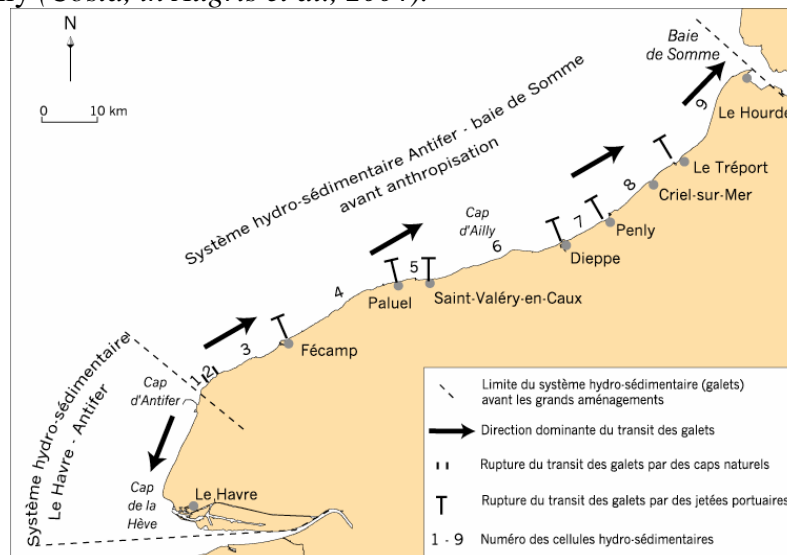


Figure 4.3- Les cellules hydro-sédimentaires le long du littoral haut-normand

Ces accumulations ont une largeur moyenne de 40 m mais peuvent, contre certains ouvrages, dépasser 50 à 60 m. Le volume des cordons de galets a été estimé, en 1995, par analyse photogrammétrique à 1 740 000 m<sup>3</sup> entre Dieppe et Le Tréport, (Costa, 2000), dont la majeure partie au niveau des plages d'accumulation de Dieppe (830 000 m<sup>3</sup>) et du Tréport (520 000 m<sup>3</sup>).

L'estran se caractérise également par la présence d'une fraction sableuse non négligeable. Sur le platier rocheux, se trouvent des placages sableux très mobiles et particulièrement abondants entre Saint-Valéry-en-Caux et Le Tréport. Ils ont une extension de quelques centaines de mètres carrés, et une épaisseur atteignant tout au plus 1,5 m.

Les caractéristiques granulométriques de surface des cordons de galets sont relativement simples et grossièrement homogènes sur l'ensemble du secteur d'étude (LCHF, 1972 ; Costa, 1997). Ainsi, la dimension moyenne des galets est de l'ordre de 4 à 7,5 cm et ne dépasse que rarement 14 cm. La taille des matériaux est assez grossière et permet la formation d'une pente moyenne d'environ 10 % qui peut être localement plus forte suivant les conditions hydrodynamiques.

Une fraction sableuse abondante se trouve au sein même des cordons de galets. En effet, ces derniers sont constitués au mieux de 50 % de galets, le reste étant un mélange de graviers et de sables dans une proportion pouvant atteindre 70 % (LCHF, 1974 ; Costa, 1997 ; Morel, 1997 ; Dolique, 1998).

### 4.2.3 Géologie du substratum marin

Entre Dieppe et Le Tréport, le substratum rocheux est d'âge turonien à sénonien. Le Turonien affleure, sur l'estran et en mer, depuis Bracquemont jusqu'à l'Ouest de Criel, puis de l'Est de Criel au Tréport. Entre Dieppe et Bracquemont, et devant Criel-sur-Mer, la craie est d'âge sénonien (Fig. 4.4).

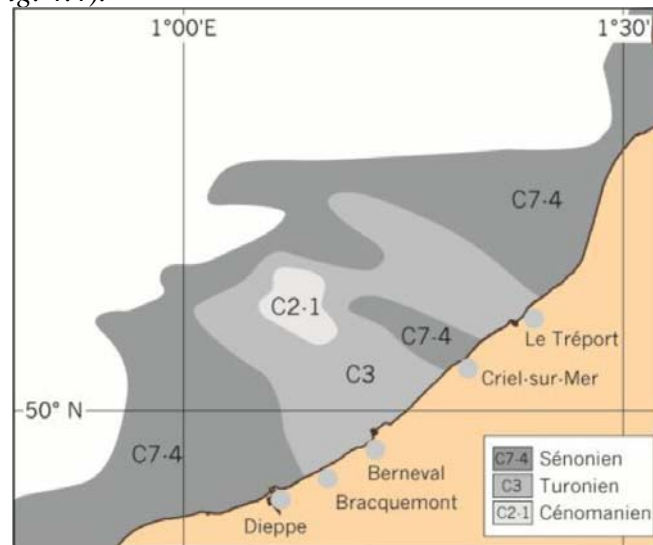


Figure 4.4 - Géologie du substratum marin (Auffret, 1977)

Les secteurs à substrat sénonien sont systématiquement plus élevés d'environ 2 m que les secteurs à substrat turonien et présentent une morphologie plus tourmentée. Les contrastes observés entre les deux unités pourraient être en partie la conséquence de différences lithologiques. En effet, la présence de silex disposés en niveaux presque horizontaux dans le Sénonien limiterait l'érosion des couches correspondantes. Par contre, leur absence dans les couches du Turonien pourrait favoriser leur érosion.

Paradoxalement, bien qu'elle imprime son influence sur la morphologie des fonds, la craie n'affleure pratiquement qu'à proximité immédiate de la côte, dans les très petits fonds, inférieurs à 10 mètres. Au-delà, elle est le plus souvent masquée par une couverture sédimentaire meuble.

#### **4.2.4 Caractéristiques morpho-sédimentaires des fonds marins côtiers**

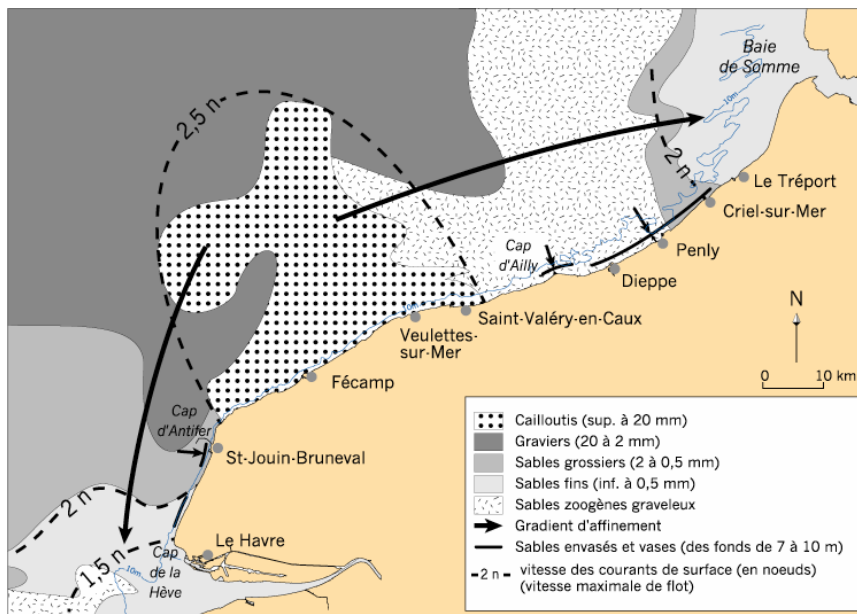
Les fonds de la Manche orientale (de la baie de Seine au détroit du Pas-de-Calais) sont caractérisés par un relief peu mouvementé et des profondeurs n'excédant que rarement 50 m. Ils sont recouverts d'une pellicule mince et discontinue de sédiments meubles (sables et cailloutis) (Larsonneur, 1971).

Les abords de Dieppe - Le Tréport sont dépourvus de grands bancs sableux, tels qu'on les connaît dans le Pas-de-Calais, avec des épaisseurs dépassant parfois 10m et une longueur de plusieurs dizaines de km.

Quelques formes d'accumulation isolées, appelées « ridins », localisées aux abords de la côte, dans les fonds de 15 à 30 m, se situent entre Dieppe et la baie de Somme (Augris *et al.*, 1993), notamment les ridins du Tréport, de 8m de hauteur maximale.

Au droit de la côte d'Albâtre, la topographie de la plate-forme d'érosion marine comprise entre 0 et 20 m est également peu mouvementée. La pente moyenne est faible, de l'ordre de 0,7 %, et croît de la baie de Somme (0,1 %) à Antifer (2 %).

Globalement, la nature et la répartition des sédiments au large et dans les petits fonds sont assez simples dans cette partie de la Manche orientale. Le substratum rocheux, généralement calcaire, est surmonté par une couverture sédimentaire meuble peu épaisse, sauf au niveau des ridins.



**Figure 4.5 – Relation entre la répartition des sédiments superficiels et la vitesse des courants de marée le long de la côte d'Albâtre (Costa, 1997, d'après Auffret et Larsonneur, 1978).**

La couverture meuble est caractérisée, au-delà de 10 m de fond, par un gradient d'affinement, en étroite relation avec les champs de courants de marée, depuis le secteur Antifer - Saint-Valéry-en-Caux, constitué de cailloutis de taille supérieure à 20 mm, jusqu'aux baies de Seine et de Somme constituées de sables fins quartzeux de taille inférieure à 0,5 mm (Fig. 4.5). Les sédiments sont essentiellement terrigènes sauf entre Saint-Valéry-en-Caux et Penly où la composante biogène est marquée. Du large vers les fonds de 6 à 10 m, les matériaux s'affinent, allant des cailloutis aux sables fins parfois envasés.

#### **4.2.5 Houle**

Le climat littoral est remarquable par la fréquence et la violence des vents. Ceux-ci constituent un paramètre météorologique important puisqu'ils génèrent la houle, agent

essentiel d'érosion et de transport. Les travaux de Météo-France (SCEM, 1991) indiquent que :

- les vents annuels dominants sont de secteur ouest (Sud-Ouest à Nord-Ouest) ;
- les vents les plus forts, supérieurs ou égaux à 7 Beaufort (supérieurs à 50 km/h), sont de secteur sud-ouest à ouest de novembre à mars et de nord à nord-est, mais d'une intensité et d'une fréquence moindres, d'avril à juin. Ces conditions de vent représentent 8,4 % du temps sur l'année en Manche Est.

La période propice aux tempêtes s'étend d'octobre à mars, mais la géométrie de la Manche fait que les fetchs sont réduits pour quasiment toutes les directions de vent et n'induisent alors qu'une agitation de type « mer du vent ». Les houles du large ne peuvent arriver directement jusqu'au littoral que pour un fuseau très étroit de provenances (plein Ouest). L'étroitesse de ce fuseau, les faibles profondeurs sur lesquelles elles se propagent en Manche avant d'atteindre cette zone, ainsi que leur réfraction causent un amortissement très sensible des vagues depuis le large jusqu'au littoral. Par conséquent, les provenances de houle sont souvent analogues à celles du vent local.

Conformément aux données de vent, les houles significatives les plus fréquentes et les plus fortes apparaissent entre octobre et mars et sont, dans l'ordre d'importance, d'Ouest à Sud-Ouest, puis de Nord-Ouest, alors que les houles de Nord et de Nord-Est sont plus faibles en fréquence et en intensité. Ces résultats confirment ceux fournis pour les vents en ce qui concerne le sens prédominant des transits sédimentaires sous l'action de la houle. Ainsi, à l'Est d'Antifer, le transport littoral s'effectue en moyenne 65 % du temps vers le Nord-Est et 35 % vers le Sud-Ouest.

Les hauteurs significatives de la houle sont, à échelle annuelle, de 4,3 m à Dieppe et 3,8m à Penly; et de 5,7m à Dieppe et 4,7m à Penly, à échelle décennale (Allen et Delannoy, 1990, STNMTE, 1995).

## **4.2.6 Marée**

### **4.2.6.1 Niveaux de la mer**

#### **4.2.6.1.1 Marée astronomique**

Le phénomène marégraphique résulte ici de la propagation et de la réflexion d'une onde qui provient de l'Atlantique et se propage en Manche. Le retard de l'instant de pleine mer, par rapport à celui de Brest, est d'un peu moins de 6 heures pour Le Havre et d'environ 7 heures pour la baie de Somme. La marée est de type semi-diurne\* et a une période moyenne de 12 h 25 minutes. Le marnage est de l'ordre de 8,5 m à Dieppe pour une marée de vive-eau moyenne, définissant un environnement de type mégatidal. Les données du SHOM (2001) montrent que l'amplitude des marées de vive-eau exceptionnelle (coefficient 120) est de 10,10m à Dieppe et de 10,3 m au Tréport.

#### **4.2.6.1.2 Surcotes et décotes**

Les niveaux de marées peuvent subir des surcotes ou des décotes, liées à des écarts de pression atmosphérique par rapport à son niveau normal (1013 hPa) ou par un afflux d'eau à la côte en raison de l'effet du vent.

Les surcotes induisent une élévation du niveau de la marée, visible surtout à pleine mer, de plusieurs dizaines de centimètres. À Dieppe, une surcote de 90 cm aurait une période de retour décennale, alors qu'une surcote de 1,76 m aurait une période de retour millénaire. Ces surcotes peuvent se combiner aux niveaux de pleine mer, ce qui provoque des «niveaux

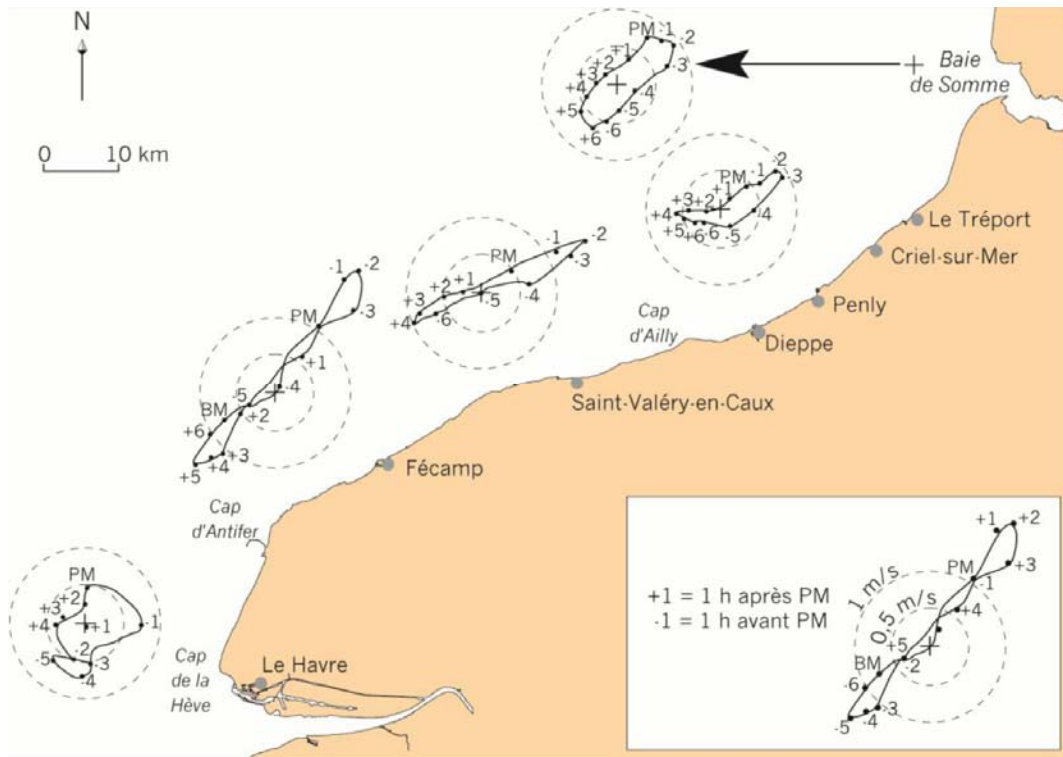
extrêmes» générant parfois l'inondation des côtes basses. Ainsi, le niveau extrême centennal (10.53 m, *Besnard, 1993, 1994 in Latteux, 2001*) dépasse-t-il le niveau de pleine mer de vive-eau exceptionnelle (coefficient 120) de près de 40 cm à Dieppe, d'après les observations sur les 50 dernières années.

#### 4.2.6.2 Courants de marée

Contrairement aux régimes de la marée et des surcotes, celui des courants de marée est très influencé par les conditions locales (topographie et frottement de la côte, présence de bancs, de chenaux...).

Les études menées en Manche montrent que (*Fig. 4.6*) :

- la circulation résultante des courants de marée en Manche orientale s'effectue parallèlement à la côte vers le Nord-Est, mais peut être ponctuellement perturbée par des forçages météorologiques (*Janin et Le Vaillant, 1995; Janin et Annebicque, 1996*);
- les courants de marée en Manche orientale sont forts (fréquemment de 2 à 3 noeuds, soit 1 à 1,5 m/s) ;



**Figure 4.6 - Vitesse et direction des courants de marée, en vive-eau, le long du littoral de la Seine-Maritime (SHOM, 1968)**

- les vitesses maximales en vive-eau moyenne croissent du cap de La Hève (0,6 m/s) à Étretat (près de 2 m/s ; *SHOM, 1996*), puis décroissent progressivement vers l'Est pour atteindre 0,90 m/s devant la baie de Somme ;
- entre Antifer et Le Tréport, les courants sont de type alternatif, sensiblement parallèles à la côte. Le jusant, qui dure en littoral 7 heures, se dirige vers le Sud-Ouest alors que le flot, plus court (5 h à 5h 30), se dirige vers le Nord-Est ;
- plus localement, entre Dieppe et Le Tréport, les vitesses du flot sont en général 20 à 30 % plus élevées que celles du jusant, quel que soit le coefficient de la marée. Elles atteignent, pour une marée de vive-eau, 0,75 à 0,9 m/s pour le flot et 0,5 à 0,65 m/s pour le jusant, contre 0,4 à 0,55 m/s pour le flot et 0,3 à 0,45 m/s pour le jusant, en morte-eau (*Allen, 1978*) ;

- à l'approche de la côte, les courants de marée diminuent rapidement et sont plus faibles (0,4 m/s) par fond de 6 mètres. Sur la zone intertidale, ces derniers ne dépassent guère 0,2 m/s (*Levoy, in Costa & Delahaye, 2002*) ;
- les irrégularités du tracé du trait de côte telles que le cap d'Ailly et les ouvrages portuaires engendrent la formation de grands vortex\* qui modifient localement la vitesse des courants de marée et leur direction (*SHOM, 1968 ; Augris et al., 1993 ; Costa, 1997*).

La vitesse des courants de marée est insuffisante pour transporter les galets. Toutefois, elle permet d'assurer l'entraînement des sables au large. Conjugués à l'action des houles, les courants participent au transport de la fraction sableuse aussi bien au large que sur l'estran.

### **4.3 Méthodologie**

Ce chapitre présente les outils et les résultats des travaux de cartographie des fonds menés périodiquement sur le secteur de Dieppe-Criel-sur-Mer.

Le programme de suivi environnemental aux abords de la centrale EDF de Penly a permis le levé détaillé des fonds côtiers entre Dieppe et Le Tréport à six reprises : en 1988-1989, 1992, 1996, 2000, 2004 et 2008.

La méthodologie, identique à chaque levé, est basée sur l'association de différents outils complémentaires :

- un **sonar à balayage latéral** pour la réalisation de la couverture cartographique. Les « images » obtenues, appelées « sonogrammes », permettent de distinguer les types de fond par leurs teintes différentes et de les délimiter précisément (*Fig. 7*) ;
- un **sondeur bathymétrique** pour la mesure de la profondeur d'eau, qui révèle le relief du fond à la verticale du navire ;
- une **benne** pour le prélèvement d'échantillons de sédiment (*Fig.8 et 9*) ; le sonar à balayage latéral ne renseignant pas la nature du fond, il est nécessaire de calibrer chaque teinte observée sur les sonogrammes en lui associant un type de sédiment.

Les essais de visualisation directe des fonds par vidéo sous-marine réalisés lors de la campagne de 1992 se sont révélés infructueux en raison de la forte turbidité des eaux à proximité de la côte. La caméra a utilisé une large ouverture de diaphragme, conduisant à une réduction de la profondeur de champ jusqu'à 1 à 2 m, pour tenter de pallier la faible luminosité.

#### **4.3.1 Principe du sonar à balayage latéral**

*Le sonar à balayage latéral se compose d'un « poisson » remorqué, qui envoie vers le fond un signal acoustique par l'intermédiaire de deux émetteurs. Le signal réfléchi par le fond est capté par le poisson, qui le transmet par un câble électro-porteur aux enregistreurs numérique et graphique situés à bord du navire.*

*Le principe du sonar à balayage latéral repose sur la variation du coefficient de rétrodiffusion du fond. Le signal acoustique, de fréquence 110 kHz, émis par les deux transducteurs logés dans le poisson, est renvoyé avec plus ou moins d'intensité selon les caractéristiques de nature et de forme du fond (*Fig. 4.7*).*

*L'enregistreur assure plusieurs types de corrections automatiques :*

- correction de l'obliquité du rayon liée à l'altitude du poisson par rapport au fond ;
- correction de la compression de l'image par asservissement de la vitesse d'enregistrement à celle du navire par rapport au fond.

*Le repérage du navire est assuré lors des missions océanographiques par un système de positionnement par satellites (GPS).*



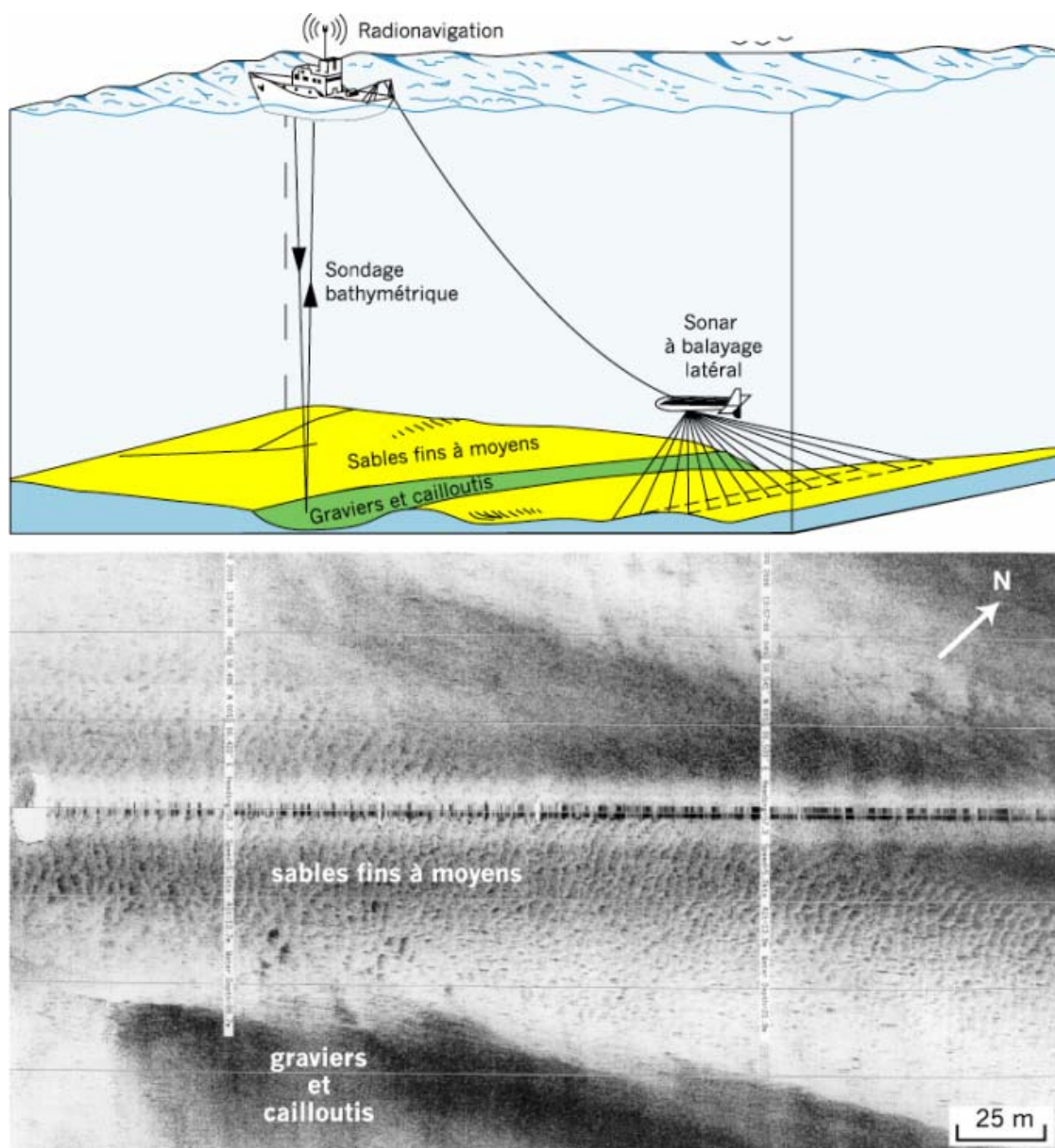


Figure 4.7 – mode de fonctionnement du sonar à balayage latéral et exemple d'enregistrement à Dieppe

Pour une précision optimale, le GPS s'utilise en mode différentiel : l'utilisateur, en l'occurrence le navire, reçoit, en complément des informations venant des satellites, des corrections fournies par des stations terrestres de référence. La position est alors connue avec une précision de quelques mètres, au lieu de plusieurs dizaines de mètres en GPS non différentiel.

Le sonar à balayage latéral a une capacité de représentation de larges étendues : environ 1 km<sup>2</sup> par heure à une vitesse de navigation de 5 noeuds (1 noeud = 1 mille marin/heure). Il est adapté à l'identification des limites de faciès (type de fond) et des micro-reliefs. Les enregistrements sont acquis à l'échelle 1/1 000, avec une définition de l'ordre de 1 mètre carré. Le sonar latéral n'a par contre aucun pouvoir de pénétration et ne donne des informations que sur la surface du fond de la mer. Pour des raisons techniques, liées à la sécurité de la navigation de navires remorquant des engins, il ne peut être utilisé que lorsque la hauteur de la tranche d'eau est supérieure à environ 8 mètres.

Afin de s'approcher au plus près de la côte, et de cartographier la morphologie spécifique de la roche, les levés postérieurs au levé initial de 1988/1989 ont été réalisés dans des conditions de marée de vive-eau.

Le sonar latéral ne fournissant pas d'indication précise sur la taille des sédiments, l'imagerie acoustique doit être calibrée par des prélèvements de sédiment à la benne.

### **4.3.2 Prélèvement des échantillons**

Lors des missions précédentes sur le site de Penly, de 1988 à 2000, l'ensemble des échantillons a été prélevé à l'aide de la benne Hamon, également utilisée pour l'analyse faunistique, de manière à assurer une bonne correspondance entre les deux types d'informations.

La benne de type « Hamon », est composée d'un godet prolongé par un bras de levier qui bascule par traction du câble porteur depuis le navire (*Fig. 4.8*). D'un poids voisin de 150 kg, elle permet d'échantillonner une surface de 0,25 m<sup>2</sup> sur une épaisseur d'une vingtaine de centimètres. Toutefois, le calage entre les analyses sédimentologiques et l'imagerie sonar était rendu difficile par l'épaisseur de la couche sédimentaire prélevée.



**Figure 4.8 – La benne Hamon**

En 2004, plusieurs échantillons ont été prélevés à la fois à l'aide de la benne Hamon et de la benne Van Veen, plus légère (*Fig.4.9*).

En 2008, tous les échantillons destinés à l'analyse sédimentologique ont été prélevés à la benne Van Veen, plus légère (30 kg), de volume plus faible que celui de la benne Hamon utilisée auparavant, et qui prélève le sédiment plus en surface, afin d'assurer une meilleure correspondance avec l'imagerie sonar. Dans les fonds caillouteux, la benne Hamon reste indispensable. Elle est la seule à pouvoir prélever les cailloutis de grande taille (15 - 20 cm parfois), alors qu'une benne plus légère ne remonte aucun sédiment, même en renouvelant la tentative de prélèvement.



**Figure 4.9 – La benne Van Veen**

Ce changement d’outil de prélèvement conduit à comparer l’évolution sédimentaire du site à deux périodes distinctes :

- 1988 – 2000 d’une part,
- 2004 – 2008 d’autre part.

### **4.3.3 Analyse sédimentologique des échantillons**

L’analyse granulométrique vise à déterminer la répartition de la taille des grains de l’échantillon. Elle a été réalisée par le Laboratoire de Dynamique Sédimentaire et Structurale de l’Université de Lille I, dans un premier temps par tamisage sur une colonne de norme AFNOR de 1988 à 1992, puis à l’aide d’un granulomètre laser, depuis cette date.

En complément, l’analyse calcimétrique donne la quantité de calcaire dans le sédiment (fragments de coquilles et débris de craie).

#### **Description et classification des sédiments**

La classification des sédiments est basée sur la **taille** des grains. On distingue les blocs (de taille supérieure à 20 cm), les galets (2 à 20 cm), les graviers (2 mm à 2 cm), les sables (0,063 mm à 2 mm), les silts (4 à 63  $\mu$ m), et les argiles (de taille inférieure à 4  $\mu$ m).

L’analyse granulométrique des sédiments prélevés en mer, donne la répartition des différentes classes granulométriques dans l’échantillon. Celle-ci est représentée graphiquement par :

- un **histogramme**, qui donne l’importance relative de chaque classe granulométrique ;
- une **courbe cumulative**, qui indique le pourcentage de grains de taille inférieure à une valeur donnée.

A partir de la représentation graphique de l’échantillon, il est possible de calculer différents paramètres et indices. Les plus utilisés sont :

- le **mode**, qui correspond à la taille du grain dominant. Lorsque deux tailles de grain différentes prédominent, la répartition du sédiment est dite bimodale ;
- la **médiane**, qui exprime la taille du grain dépassée par 50 % de l’échantillon ;
- les **quartiles** (Q25, Q75), qui permettent le calcul de l’**indice de classement** de Trask (Sorting index : So), par la formule  $\sqrt{Q75/Q25}$ .

Le classement est d’autant plus mauvais que sa valeur s’éloigne de 1 ; il est optimal pour la valeur 1 (Fig. 10). Il augmente lorsque l’échantillon est composé de grains de taille très différente. Celui-ci est alors qualifié de “mal ou très mal classé”. La médiane correspond à Q50.

- l’**indice d’asymétrie** (Skewness) exprime la tendance grossière ou fine d’un échantillon.

## Synthèse hydrobiologique du site du C.N.P.E. de Penly

### Chapitre 4 – Le domaine benthique – Compartiment sédimentologique

Deux grands types d'éléments composent les sédiments marins :

- des éléments **siliceux**, d'origine continentale (terrigenous) : les silex, les graviers, et les sables ;
- des éléments **calcaires**, d'origine mixte, composés ici à la fois de débris coquilliers, (biogènes) et de granules de craie (terrigenes).

Classement du sédiment	Valeur de l'indice So
Très bien classé	1,00 à 1,17
Bien classé	1,17 à 1,20
Moyennement bien classé	1,20 à 1,35
Moyennement classé	1,35 à 1,87
Mal classé	1,87 à 2,75
Très mal classé	supérieur à 2,75

Figure 4.10 – Correspondance entre les valeurs de l'indice So et le classement du sédiment (Friedman, 1962)

Le tableau suivant (Fig. 4.11) récapitule l'ensemble des données acquises sur le site de Dieppe – Criel-sur-Mer et aux alentours de celui-ci, au cours des 7 missions réalisées de 1988 à 2008

Date des missions océanographiques	Longueur de routes parcourues en km	Superficie reconnue en km <sup>2</sup>	Nombre d'échantillons récoltés
1 au 4 avril 1988	345	53	29
2 au 5 mai 1989	285	68	0
4 au 10 mai 1992	380	60	24
2 au 12 juillet 1996	660	99	32
16 au 20 avril 2000	450	65	38
22 juin au 4 juillet 2004	550	70	40
4 au 12 mai 2008	480	55	40

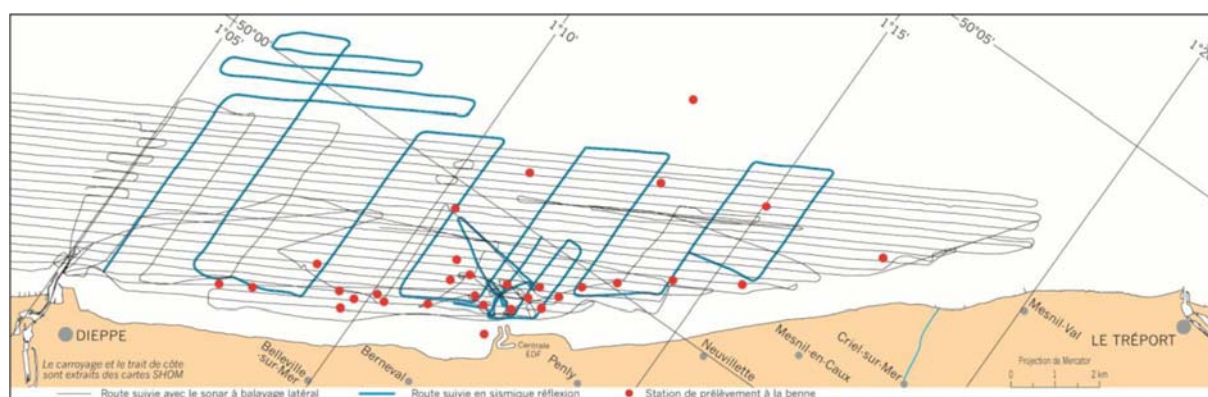


Figure 4.11 - Tableau récapitulatif des données acquises sur le site de Penly, de 1988 à 2008 et exemple de couverture sonar de la zone et de plan d'échantillonnage, en 1996

A chaque levé, une carte des formations superficielles et une carte d'évolution par rapport au levé précédent sont établies, à l'échelle du 1/10 000.

## **4.4 État initial du site et bilan des connaissances avant mise en service de la centrale**

Ce chapitre présente les caractéristiques morphologiques et sédimentologiques des fonds lors du levé initial de 1988-1989.

### **4.4.1 Les études d'avant-projet**

L'avant-projet sommaire « benthos » (*CNEXO et al, 1976*), basé sur des travaux de terrain juin 1975, souligne la pauvreté de la bibliographie relative à la côte de Haute-Normandie.

Il donne néanmoins des indications sur **les estrans et leur couverture sédimentaire meuble**, avant construction de la centrale :

- l'estran se caractérise par un platier rocheux, sur lequel les matériaux meubles ne se rencontrent généralement qu'en pied de falaise, sous la forme d'un cordon de galets dépassant rarement 30 à 40m de large, et 2 à 3m de hauteur (*Migniot et al, 1972*),
- d'autres types de sédiments se rencontrent sur cet estran, sous la forme de placages sableux de quelques dizaines de centimètres d'épaisseur et de surface variable.

L'étude granulométrique des sables entre la valleuse de Berneval et le blockhaus de Penly indique que ce sont des sables bien classés et homogènes. Les dépôts de la partie supérieure de l'estran sont des sables moyens (mode 0,25 mm) ; qui peuvent constituer une couche discontinue de 20 à 30 cm d'épaisseur, laissant affleurer la dalle calcaire.

Ceux de la partie inférieure des sables fins (mode 0,125 à 0,063 mm), dont l'épaisseur est comprise entre 5 et 20 cm.

Dans la partie la plus basse de l'estran, au-delà de 350 m de la falaise, les sables peuvent présenter une couche superficielle fine (mode 0,125 ou 0,063 mm).

Les auteurs soulignent « le dépôt de particules en suspension, la présence de placages sableux mobiles et la topographie peu accidentée de l'estran ».

Les relevés de terrain de 1975 (*Fig. 4.12*) montrent notamment :

- devant Berneval (radiale n° 3), la présence d'une bande sableuse entre 30 et 120m du pied de falaise (*Fig. 4.13*). Celle-ci passe vers le large à une dalle calcaire colonisée par les fucus. La bande de sable, dénommée « plage de Berneval » est suffisamment développée pour supporter une fréquentation touristique estivale.
- Devant Penly, la présence d'une moulière à partir de 100 m de la falaise, au-delà du cordon de galets de pied de falaise et de la bande sableuse, corrobore l'affleurement de roche sur l'estran.
- la radiale n°2, plus à l'Est se caractérise par la présence d'un champ de blocs sur la partie de l'estran couverte de sable, vers 120 m du pied de falaise (*Fig. 4.14*).

Par ailleurs, le même document mentionne la présence d'une moulière devant Penly

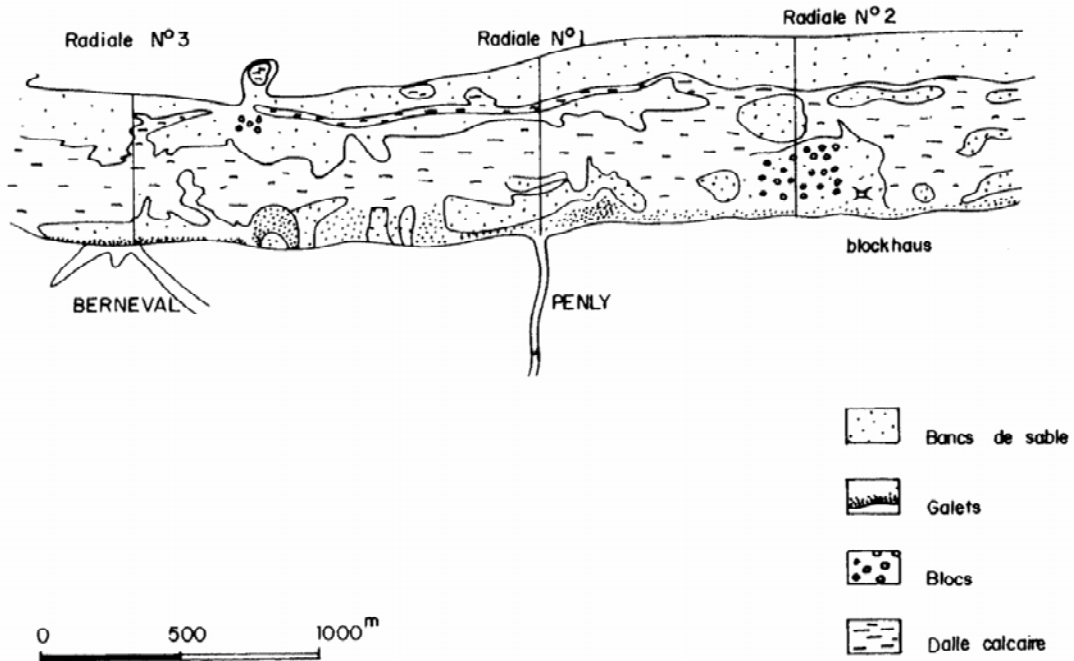


Fig. 4.12 – L'estran de Berneval – Penly en 1975 (L. Antoine, 1976)

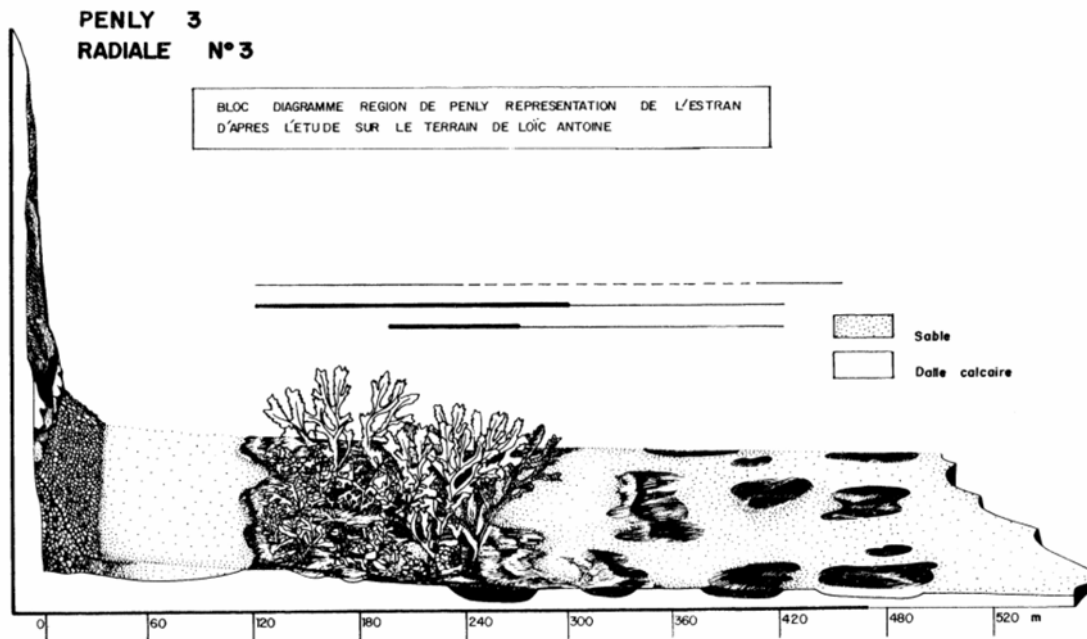


Fig. 4.13 – Représentation de l'estran de Berneval en 1975 (Radiale 3), CNEXO et al., 1976



PHOTO n° 2 - Site de Penly, au niveau de la radiale n° 2  
(Photo L. ANTOINE)

**Fig.4.14 – Photographie de l'estran de Penly en 1975 (CNEXO et al, 1976)**

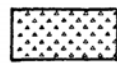
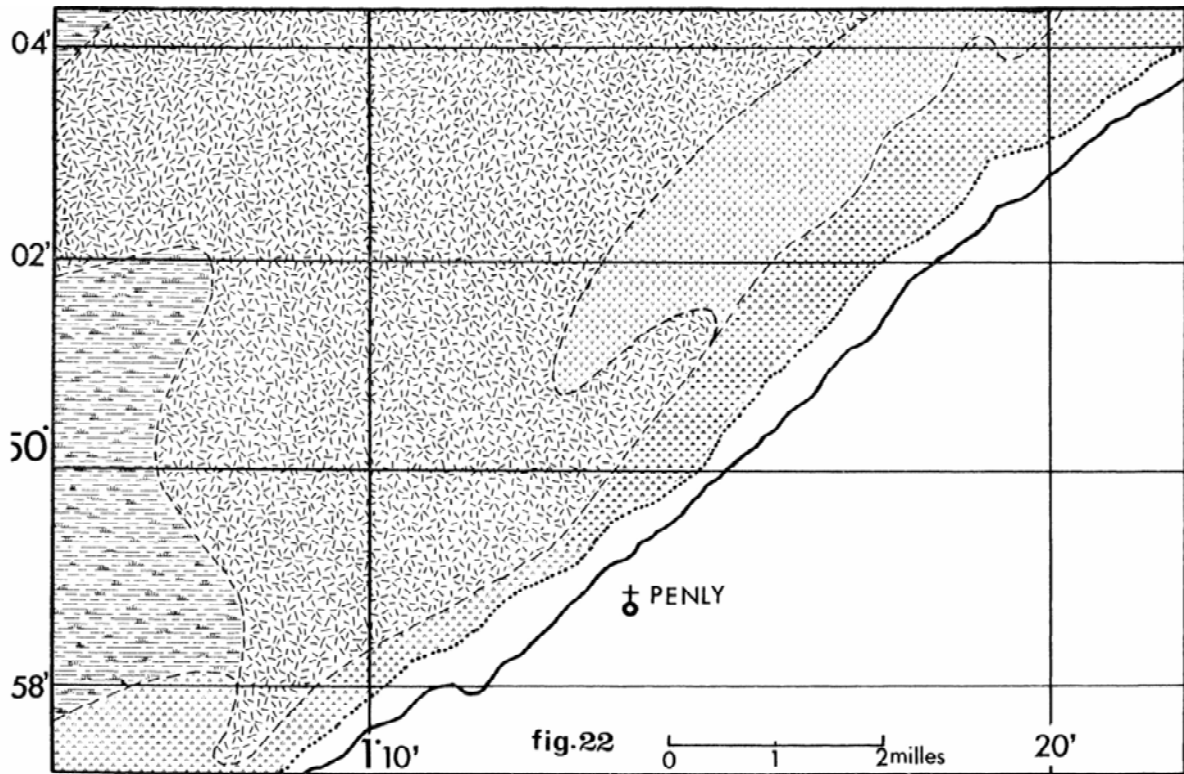
**En domaine subtidal**, les études d'avant-projet de 1976, basées sur des prélèvements à la drague Rallier du bathy, fournissent quelques indications sur les natures de fond.

Ainsi, quatre faciès sont identifiés :

- les sables fins plus ou moins envasés,
- les sables fins plus ou moins propres,
- les sables grossiers
- les sédiments grossiers graveleux.

La répartition des types de peuplements (*Fig. 4.15*) demeure toutefois sommaire, notamment en raison de la technique de prélèvement ; en effet la drague Rallier du Bathy ne prélève pas un échantillon ponctuel, mais est tractée sur le fond sur plusieurs dizaines à centaines de mètres. Un lessivage des fractions les plus fines est également possible lors de la remontée de l'engin.

Toutefois on notera que les mélanges de fractions granulométriques sont déjà signalés.



- Peuplement des sables fins plus ou moins envasés à *Amblydora*



- Peuplement des sables fins à moyens propres à *Hydrobia ulvae*



- Peuplement des sédiments grossiers à *Amphioxus lanceolatus*



- Peuplement des cailloutis et graviers à épibiose sessile (*Pomatoceros*) : faciés graveleux.

Figure 4.15 – Peuplements sublittoraux entre Dieppe et Le Tréport, en 1976 (CNEXO, 1976)

Les connaissances sur la nature des fonds les plus précises sont issues des travaux de Larssonneur et Auffret, qui ont établi par prélèvement à la benne, une cartographie des sédiments superficiels à l'échelle de la Manche. Un extrait de cette carte est notamment repris dans l'étude de projet 1978 – 79 – Halieutique (Fig. 4.16)



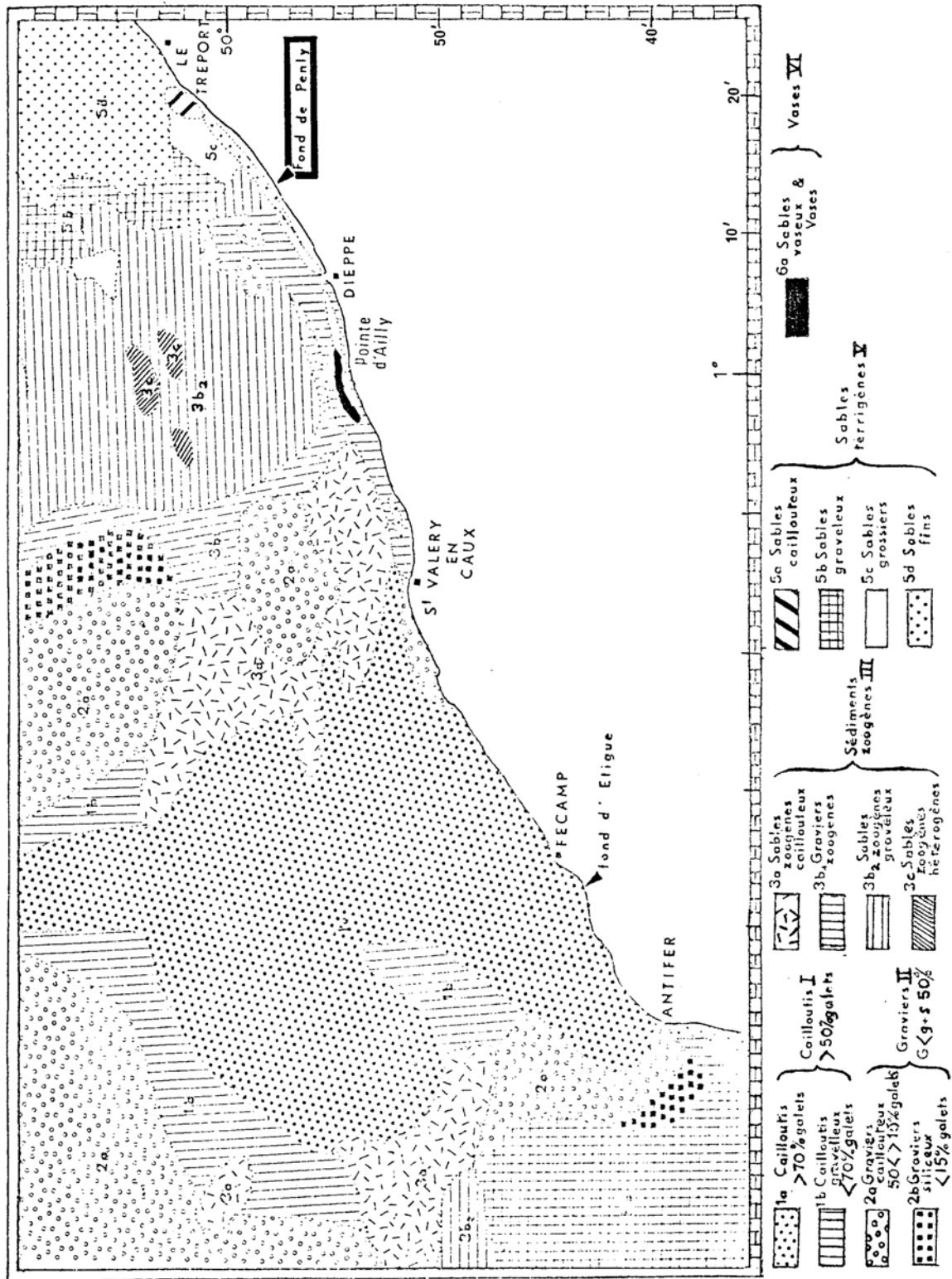


Fig. 4.16 – Nature des sédiments superficiels entre Antifer et Le Tréport (Auffret, Larsonneur, 1975)

Par ailleurs, des mesures de courant sont entreprises par le Laboratoire National d'Hydraulique d'EDF ; elles montrent notamment la prédominance du flot sur le jusant, classique en Manche orientale, et une légère décélération des courants de flot et de jusant devant Penly, lors des marées de vive-eau.

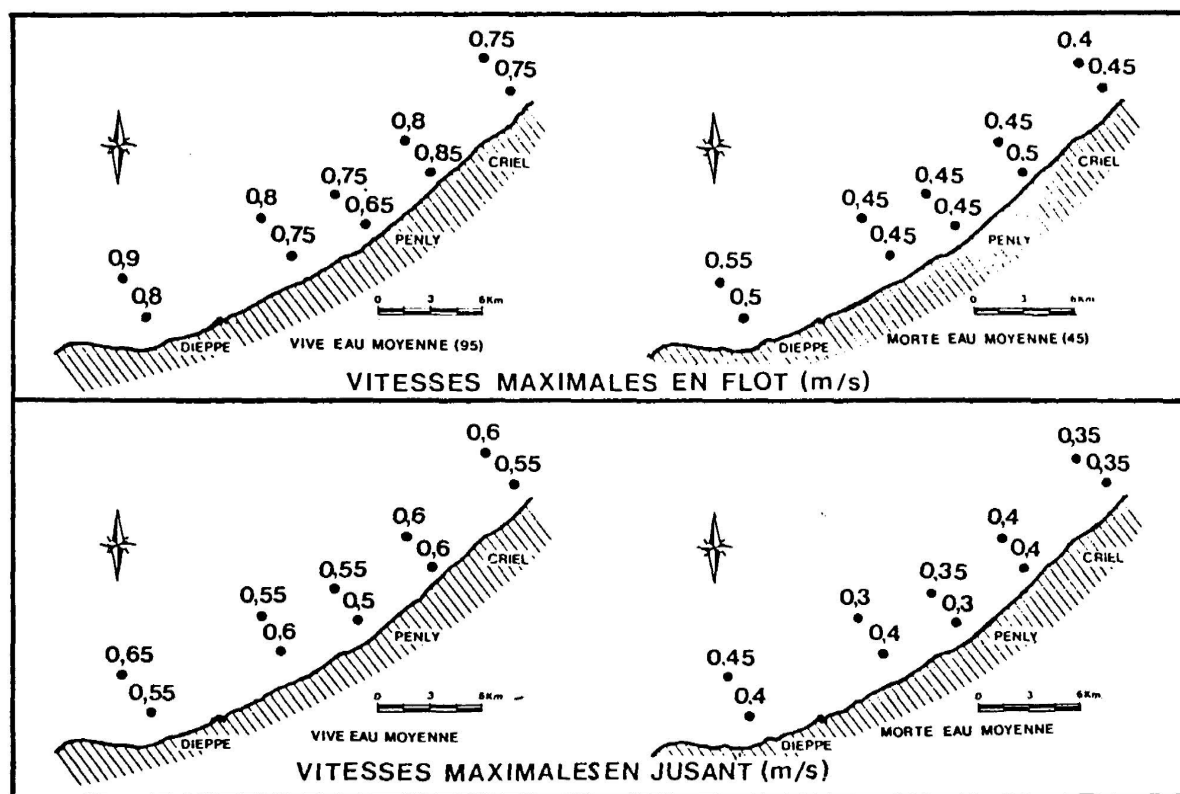


Fig. 4.17 – Vitesse maximale des courants de flot et de jusant dans la zone Dieppe-Criel (EDF/LNH, 1986)

#### 4.4.2 État de référence des fonds marins en 1988-1989

Deux levés complémentaires réalisés en 1988 dans la zone de Berneval à Criel-sur-Mer (*Drévès et Clabaut, 1989*) et en 1989, dans les zones de Dieppe- Berneval et Criel-sur-Mer - Le Tréport, ont permis d'établir une carte présentant à la fois la morpho-bathymétrie (relief général) et les formations superficielles (nature du fond et formes sédimentaires associées).

Le document cartographique édité en 1993 (*Fig.4.18*), constitue l'état de référence du secteur et met en évidence les **caractéristiques des fonds** devant le secteur Dieppe-Le Tréport :

- une **morphologie du substratum** rocheux variée ;
- une **couverture sédimentaire** grossière à la base et sableuse en surface ;
- un **système particulier** : les très petits fonds de Berneval à Criel-sur-Mer.

Une carte bathymétrique du secteur (*Fig. 4.19*) a été réalisée en 1988, par interpolation des données recueillies à l'aide d'un sondeur monofaisceau, au-delà de 5m de profondeur.

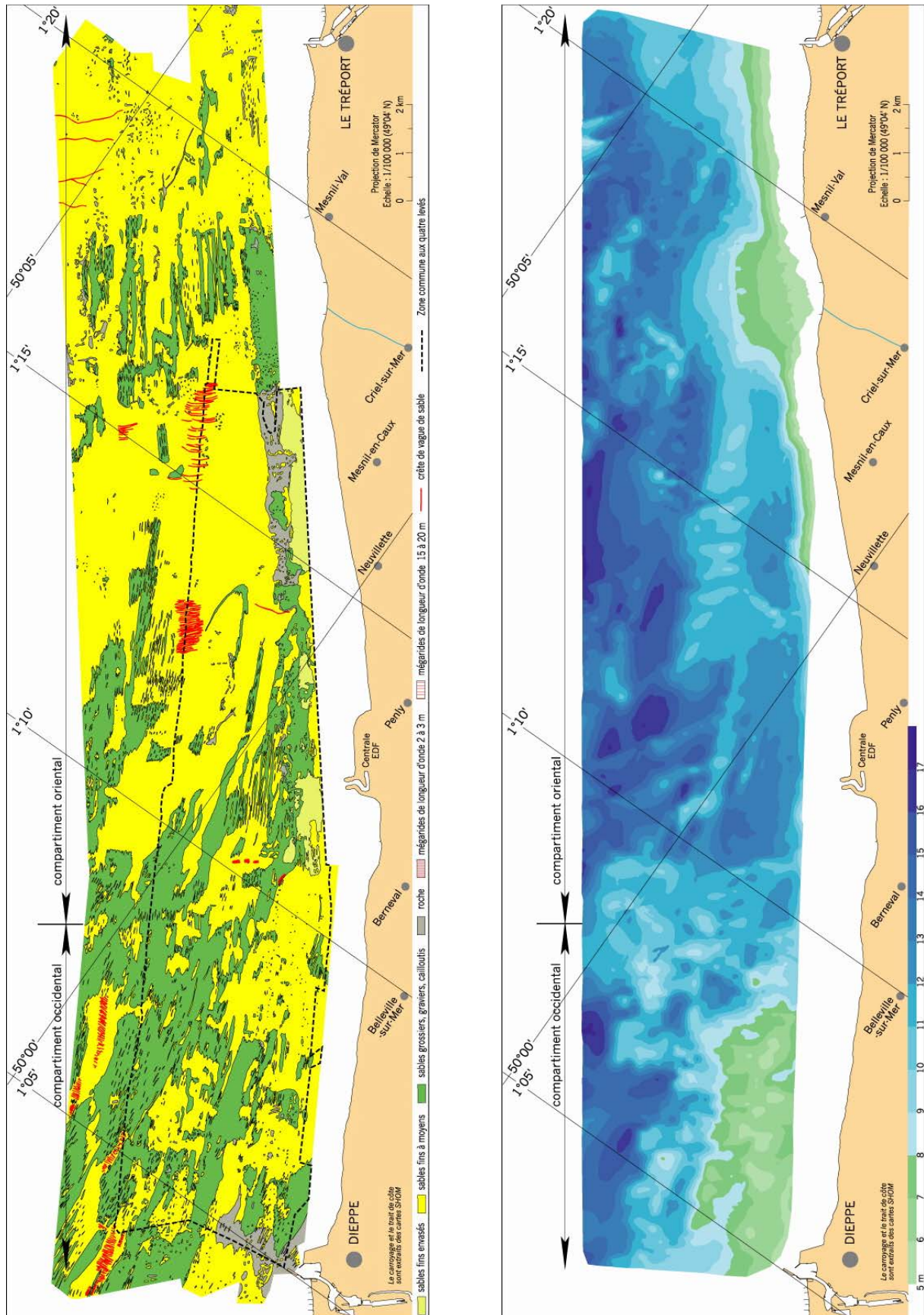


Fig. 4.18 - Carte des formations superficielles entre Dieppe et Le Tréport, en 1988-89 (Augris et al, 1993)  
 Fig. 4.19 - Carte bathymétrique entre Dieppe et Le Tréport en 1988-89 (Augris et al, 1993)

#### 4.4.2.1 Une morphologie du substratum rocheux variée

Entre Dieppe et Le Tréport, le modelé des fonds marins est influencé par la craie. Lorsque la **roche** qui compose l'estran **se prolonge largement** en mer (*Fig.4.20a*), les fonds ont une pente moyenne vers le large faible. Ce type de morphologie s'observe **face à Dieppe-Berneval** et caractérise le **compartiment occidental** du secteur, d'une longueur de 9 km, où la profondeur de 10 m (sous le zéro hydrographique) n'est atteinte qu'à 3 km environ de la côte. L'influence du substrat crayeux se traduit aussi par une morphologie irrégulière, marquée par une alternance de dômes et de dépressions de plusieurs mètres de dénivelé : au droit de Berneval, les ridins de Belleville, de nature rocheuse, constituent les reliefs majeurs, d'une hauteur de 4 mètres.

Dans une moindre mesure, ce type de morphologie liée à la roche s'observe également dans une zone particulière du compartiment oriental, qui s'étend de Berneval au Tréport, sur une longueur de 16 kilomètres. Devant Criel-sur-Mer et Mesnil-Val, le relief côtier des roches du Muron reporte la profondeur de 10 m à 2,5 km de la côte, sur un linéaire côtier de 2 kilomètres.

Lorsque la roche se termine près de la côte par un abrupt, les fonds présentent une pente transversale assez forte près de la côte (de l'ordre de 1 %), puis plus faible vers le large, associée à une morphologie plus régulière (*Fig.4. 20b*). Celle-ci s'observe dans la plus grande partie du **compartiment oriental, de Berneval au Tréport**, à l'exception des abords des roches du Muron, devant Criel-sur-Mer et Mesnil-Val, citées ci-dessus.

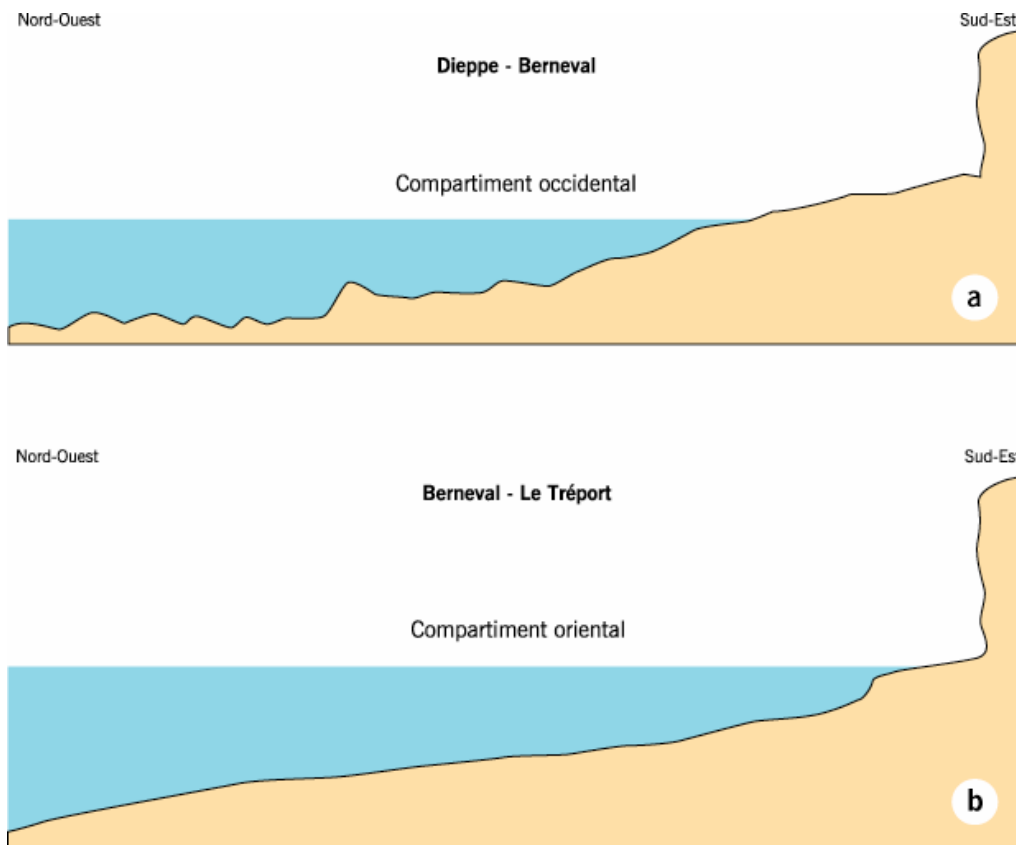


Figure 4.20 (a,b) – Profils transversaux à la côte caractérisant l'influence du substrat rocheux sur la morphologie des fonds marins

---

## **Synthèse hydrobiologique du site du C.N.P.E. de Penly**

### **Chapitre 4 – Le domaine benthique – Compartiment sédimentologique**

---

De Berneval à Criel-sur-Mer, la profondeur de 10 m est atteinte entre 1,2 et 1,5 km de la côte. Par contre, vers le large, les fonds sont assez réguliers et en légère dépression.

Sur l'ensemble du secteur, la profondeur de 15 m est atteinte à une distance de 4 à 5 km de la côte.

Le platier rocheux qui prolonge l'estran se termine vers 3 m de profondeur par un **abrupt de hauteur métrique**. La terminaison de ce platier est localement « rainurée » par des entailles s'évasant vers le large, analogues aux « carniaux\* » et « méga-carniaux » observés sur le platier d'estran.

Des mesures en plongée indiquent une hauteur d'abrupt de 1 m devant l'emplacement actuel de la centrale de Penly (*Doris, 1981*). Des blocs de craie, de taille pouvant atteindre 40 cm, ont également été observés durant ces plongées.

En domaine marin, la roche apparaît localement sous deux formes :

- des **escarpements**, d'orientation parallèle à la côte, prolongeant des bancs affleurant très localement (ridins de Neuville);
- des **affleurements rocheux à faible relief** (platiers), de superficie variable, disséminés au sein de la zone étudiée.

### 4.4.2.2 Nature et morphologie de la couverture sédimentaire meuble (Augris et al, 1993)

La couverture sédimentaire se caractérise, aux abords de Penly, par une grande variété et une forte hétérogénéité (Fig.4.20).

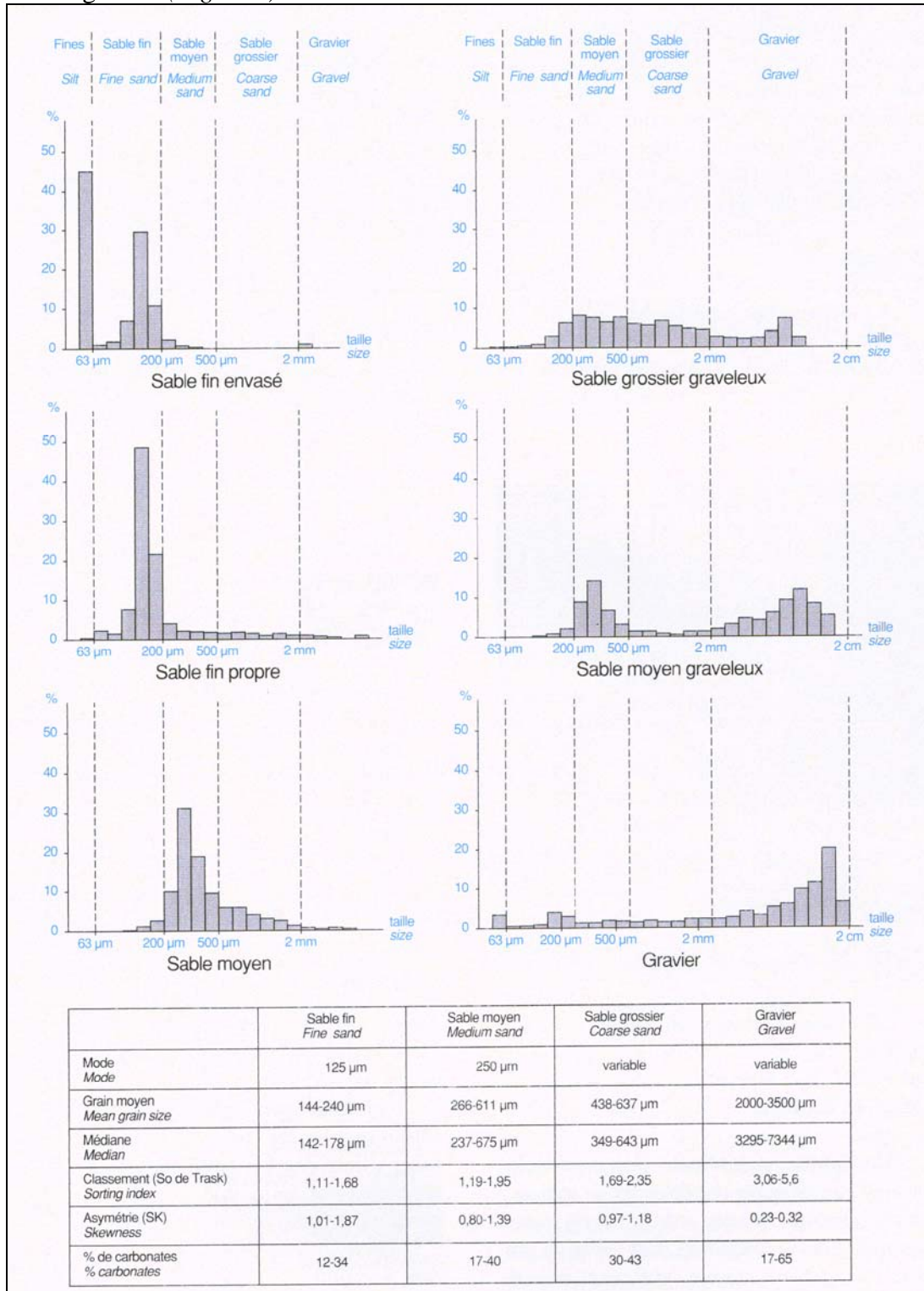


Figure.4.20 – Exemples d’histogrammes d’échantillons prélevés autour de Penly en 1988

Elle comprend deux unités superposées :

- une **unité inférieure**, reposant sur le substratum rocheux, composée de sédiments grossiers, repérables par leur teinte gris foncé sur les sonogrammes. Les prélèvements à la benne montrent qu'à ce faciès acoustique correspond un large éventail granulométrique, allant des cailloutis aux sables grossiers, auxquels peut s'ajouter une proportion non négligeable de sables moyens ou fins dans certains échantillons.
- une **unité supérieure** constituée de sables fins à moyens, propres, c'est-à-dire dépourvus de fraction fine, repérables par leur teinte claire sur les sonogrammes. Un faciès hétérogène des sables est également observé localement.

Dans l'ensemble de la zone étudiée, deux types de fond prédominent nettement :

- les sables fins à moyens, qui occupent 59 % environ de la surface totale ;
- les sédiments grossiers (sables grossiers, graviers et cailloutis), qui en constituent environ 32 %. Le substrat rocheux et les sables fins envasés sont largement moins développés et n'occupent respectivement que 4 et 3 % des fonds.

Les sables fins envasés, voire les vases, s'observent uniquement dans les petits fonds entre 6 et 12 m de profondeur. Ils se disposent selon un alignement de « taches » de taille variable, hectométrique à kilométrique, parallèles à la côte, entre Berneval et Criel-sur-Mer.

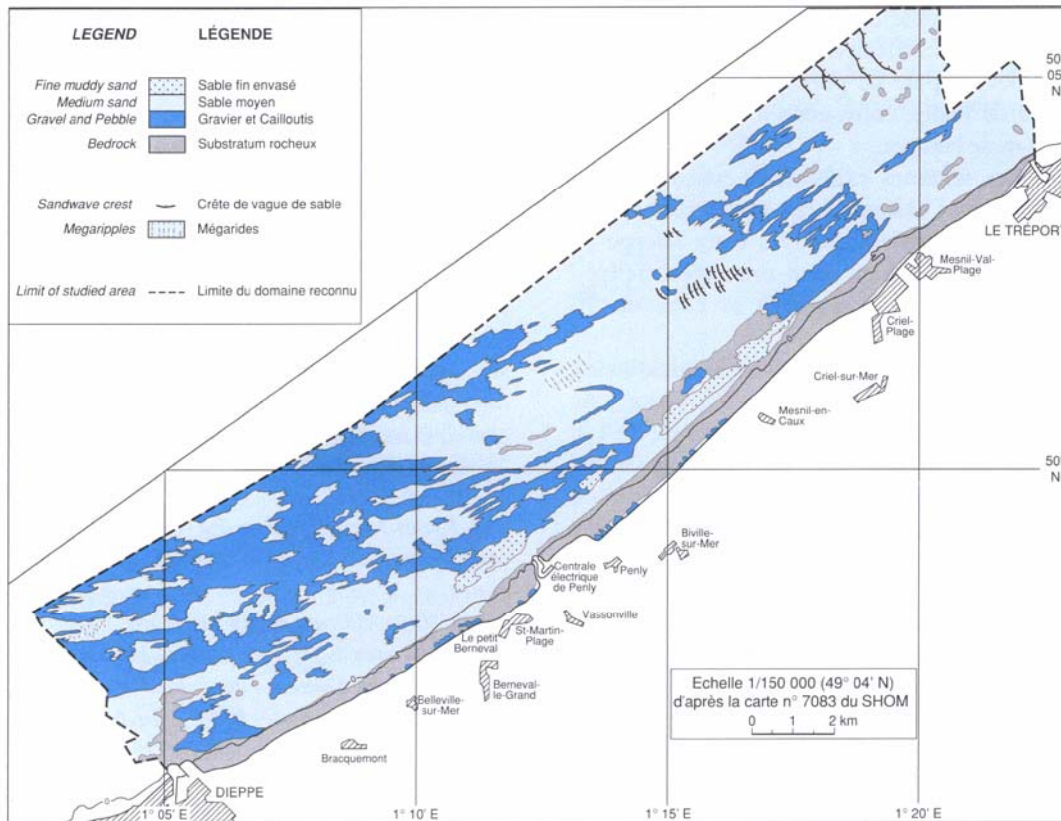
Ces sédiments, dont la teneur en particules fines peut atteindre 45%, composent pour certains d'entre eux uniquement de sables fins et de fraction fine, argilo-silteuse ; d'autres contiennent également une fraction non négligeable des sables moyens, de sables grossiers, voire de graviers.

Il est important de souligner que ces « taches » qui s'avéreront par la suite être des amas caillouteux, surmontés d'une couche sablo-vaseuse d'épaisseur variable, étaient en 1988 largement colonisées par les *Lanice conchilega*, vers tubicoles favorisant le piégeage des particules fines.

*Nota* : l'évaluation des secteurs de sables fins envasés ne prend en compte que les taches visibles sur le fond. Elle est donc sous-estimée au niveau des très petits fonds. En effet, aux sables fins « visibles » s'ajoutent ceux qui sont masqués par une mince couche de sables moyens propres, rencontrés dans plusieurs prélèvements à la benne.

La carte des sédiments présentée ci-dessous (*Fig.4. 21*), indique uniquement les grandes lignes de leur répartition ; en effet, elle est basée essentiellement sur les faciès acoustiques, qui ne correspondent pas strictement aux classes granulométriques (ex : le faciès sombre correspond à la fois aux cailloutis, aux graviers et aux sables grossiers, alors que le faciès clair regroupe les sables fins à moyens).

Bien que n'indiquant pas la répartition des différentes classes granulométriques, elle traduit cependant la grande complexité sédimentaire de la zone, qui contraste nettement avec les connaissances antérieures (*Fig.4.16*).



**Figure 4.21 – Répartition schématique des sédiments autour de Penly en 1988 (Augris et al, 1993)**

Toutefois, les compartiments occidental et oriental se différencient nettement.

- Dans le compartiment occidental, les fonds sableux et grossiers occupent des superficies pratiquement identiques, respectivement 51,6 % et 46,2 %. Les sables sont localisés dans les zones en creux, sous la forme d'un enchaînement complexe de rubans et de taches sableuses, allongés dans le sens Ouest-Est, obliques par rapport à la côte, et modelés en surface par des mégarides de longueur d'onde 15-20 mètres.  
 La roche affleure sur 2 % des fonds, principalement devant Dieppe, sous la forme d'un platier. Les sables fins envasés ne constituent que 0,2 % des fonds.
- Dans le compartiment oriental, les sables moyens à fins dominent largement : ils occupent près de 70 % de la superficie alors que les sédiments grossiers en occupent moins de 19 %. Parallèlement à leur soudure progressive, l'orientation des rubans sableux se modifie progressivement pour devenir parallèle à la côte. La roche occupe 4,2 % des fonds, et les sables fins envasés sont nettement plus abondants que dans le secteur occidental, avec 7,3 % de la surface.

Le modelé des sables se caractérise en 1988-1989 par le très faible développement des mégarides, qui ne façonnent qu'environ 1 % des fonds.

Par contre, malgré un nombre limité de prélèvements dans les très petits fonds, des sédiments à teneur en particules fines élevée, atteignant 45 %, ont été identifiés. Les cinq échantillons prélevés dans les « taches envasées » des abords de la centrale de Penly contiennent :

- 3 et 45 % de particules fines pour les deux points situés à l'Ouest de la centrale ;
- 15 à près de 19 % de particules fines pour les trois points situés à l'Est de la centrale.

Deux échantillons prélevés aux abords de ces taches présentaient des teneurs en fraction fine très faibles, inférieures à 0,5 %.



## **4.5 Description des évolutions constatées de 1990 à 2008**

Les levés cartographiques suivants (1992, 1996, 2000, 2004 et 2008) ont montré des évolutions à chaque période et à plusieurs échelles d'observation :

- extension et modelé de la couverture sableuse à l'échelle de la zone étudiée ;
- modifications locales de la répartition des sédiments ;
- caractéristiques granulométriques du sédiment.

Les cartes successives de la zone commune aux quatre levés sont comparées deux à deux, fournissant cinq cartes de l'évolution de la couverture sableuse : de 1988-1989 à 1992, de 1992 à 1996, de 1996 à 2000, de 2000 à 2004 et de 2004 à 2008, établies à l'origine à l'échelle 1/10 000.

Elles présentent la répartition des secteurs où la couverture de sables fins à moyens propres, qui est la plus mobile, s'est formée entre les deux levés ou, au contraire, a disparu. L'information sur les autres faciès est donnée de manière indirecte : recouvrement par des sables moyens, mise à l'affleurement de la roche ou des faciès sédimentaires grossiers par disparition des sables moyens.

Les levés cartographiques étant espacés de quatre ans, les cartes indiquent l'évolution globale sur cette période. De ce fait, les variations de courte durée ne peuvent être identifiées ; ceci induit notamment un « lissage » des phénomènes climatiques intenses de courte durée (tempêtes) et des phénomènes saisonniers (été/hiver).

### **4.5.1 Modifications observées dans la zone commune en 1992**

La principale modification, observée par rapport à 1988-1989, consiste en une extension de la couverture sableuse (*Fig.4.23*) (*Drévès et al., 1995 ; De La Torre, 2001*).

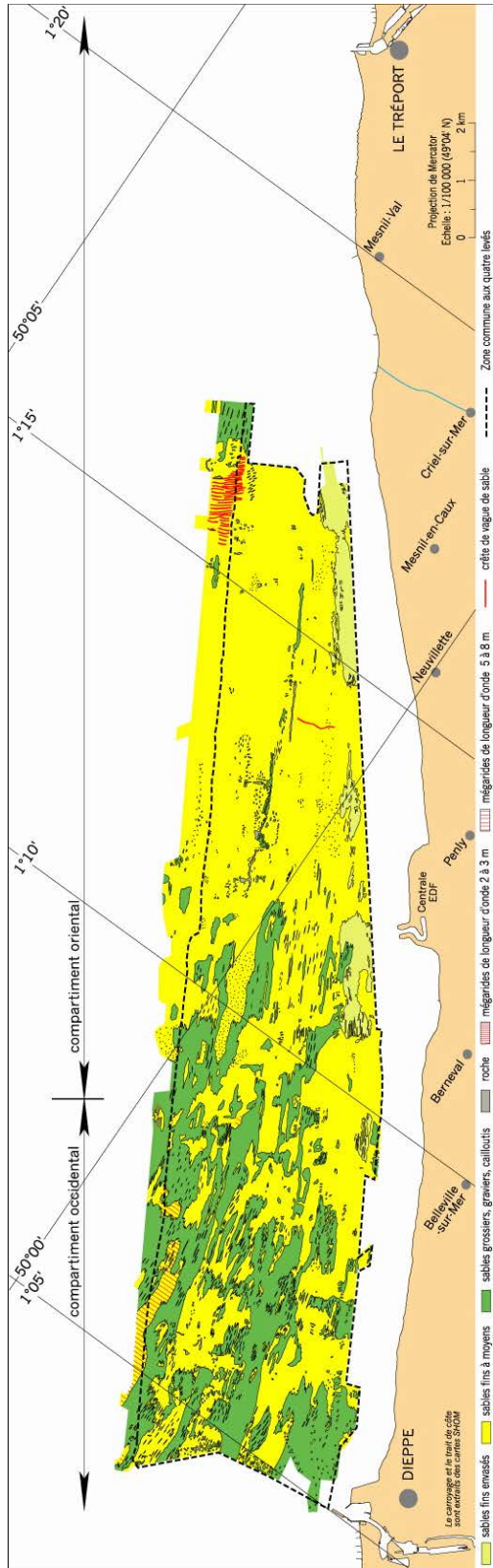
Celle-ci est particulièrement nette dans les petits fonds de Penly aux abords de Criel-sur-Mer, où du sable est venu recouvrir la roche sub-affleurante observée en 1988. Entre Dieppe et Penly, cette extension des surfaces sableuses s'observe aussi, mais de manière plus discontinue.

La superficie occupée par les sables moyens à fins passe de 61 % (soit 31 km<sup>2</sup>) en 1988 à 69 % (soit 36 km<sup>2</sup>) en 1992 alors que les fonds de sédiments grossiers se réduisent de 32 à 27 % (soit 17 à 14 km<sup>2</sup>) et les fonds rocheux de 3 à 0,5 % (1,7 à 0,2 km<sup>2</sup>). Les sables envasés restent stables à environ 4 %.

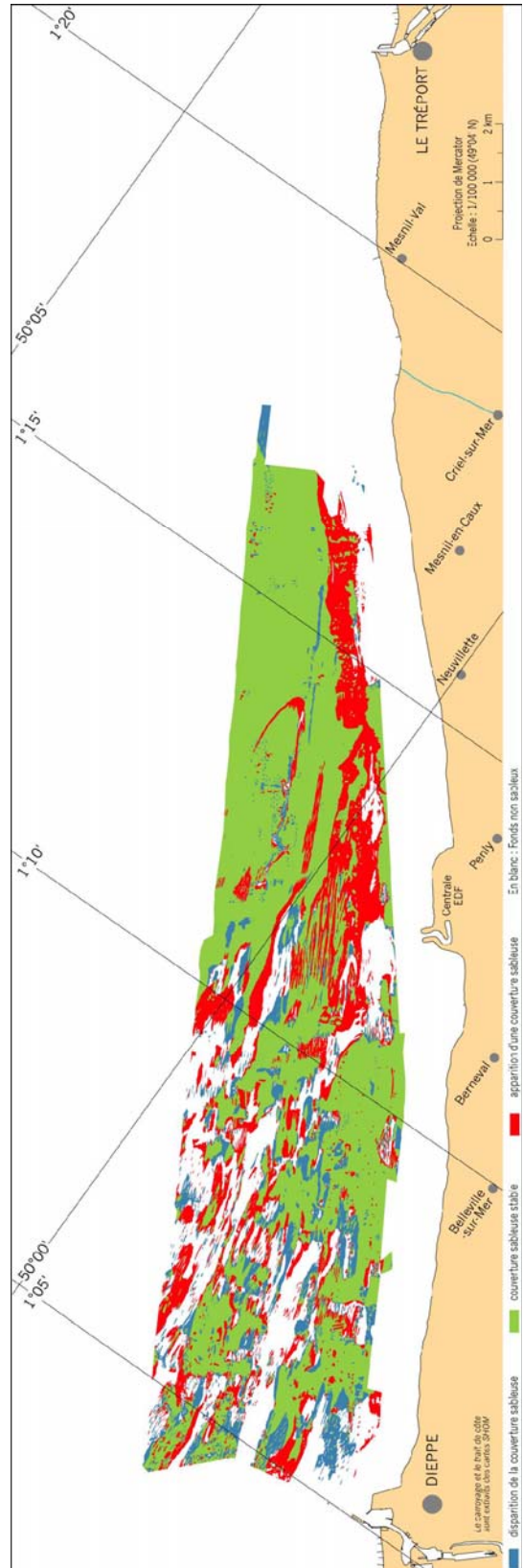
L'extension des faciès sableux est plus marquée à l'Est qu'à l'Ouest : augmentation de 2% à l'Ouest et de 15 % à l'Est. Par contre, les mégarides qui façonnent ces sables ont peu évolué entre les deux époques : à chaque levé, elles occupent en moyenne 1 % de la superficie de la zone commune.

Dans les très petits fonds devant Penly, les points de prélèvement de sédiment, plus nombreux qu'en 1988-1989, indiquent un classement des sables fins meilleur en 1992 (les 3 échantillons de sables fins prélevés ont un indice de classement (So) compris entre 1,13 et 1,17), une diminution des teneurs en particules fines (3 échantillons contiennent 3 % de fines et 4 en contiennent 10 à 20 %), ainsi qu'une diminution des vers tubicoles associés aux sédiments fins (effet possible des tempêtes de 1990). La tendance à des teneurs en particules fines plus faibles qu'en 1988-1989 n'est toutefois pas générale. Deux échantillons au droit et à l'Est de Penly sont nettement stratifiés sur une vingtaine de centimètres, avec des sables fins très envasés (10 à 20 % de fraction fine) au sommet, et des sables fins à moyens ou des sables grossiers graveleux contenant 2 à 3 % de fraction fine à la base. Ces deux prélèvements montrent bien que des sédiments fins sont venus se déposer localement et à une période assez récente sur un fond sableux. Ceci montre également que les particules les plus fines ont une dynamique spécifique, complexe, intense et probablement très fluctuante dans le temps.

**Synthèse hydrobiologique du site du C.N.P.E. de Penly**  
**Chapitre 4 – Le domaine benthique – Compartiment sédimentologique**



**Figure 4.22 – Carte des formations superficielles en 1992 (Drévès et al, 1993)**



**Figure 4.23 - Carte des évolutions de 1988 à 1992**

## **4.5.2 Modifications observées dans la zone commune en 1996**

### **4.5.2.1 Modifications des formations superficielles**

Entre 1992 et 1996, la répartition de la couverture des sables fins à moyens n'a pas évolué (69 % de la zone commune) (*Fig. 4.25*). Par contre, elle a subi une modification de son modelé par augmentation des mégarides (*Fig. 24*). Les sédiments grossiers se sont légèrement étendus (27 à 28,5 %), au détriment de la roche et des sables fins envasés (*Drévès et al., 1997 ; De La Torre, 2001*).

Dans le compartiment occidental du secteur étudié, la zone de rubans et de taches sableuses montre des variations de détail, mais garde une même distribution d'ensemble des zones sableuses et des zones de sédiments grossiers (*Fig. 4.25*).

Dans le compartiment oriental, de Belleville-sur-Mer à Criel-sur-Mer, la jonction des rubans sableux se réalise plus à l'Ouest qu'en 1992 (*Fig. 4.25*).

La principale évolution réside dans la fréquence des mégarides de courant dans les sables moyens. Sur les levés antérieurs, en 1988 et 1992, ces figures sédimentaires étaient pratiquement inexistantes (1 % environ de la superficie totale) et localisées principalement dans la partie nord-occidentale de la zone.

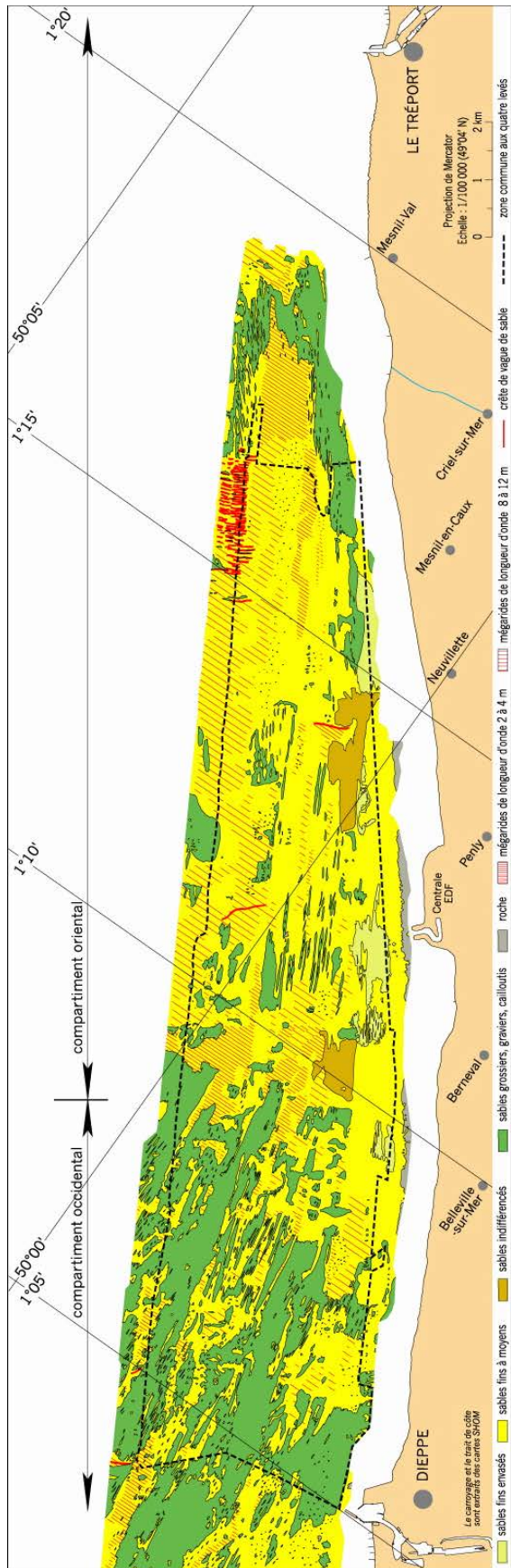
Le levé de 1996 montre que ces mégarides couvrent, non seulement la vaste dépression nord-orientale, mais aussi de nombreuses dépressions de l'Ouest de Penly (*Fig. 4.24*). Les mégarides occupent 20 % de la superficie totale. Elles sont plus développées à l'Est (27 %) qu'à l'Ouest (13,5 %) et leur longueur d'onde est également plus élevée à l'Est (8 à 12 m) qu'à l'Ouest (2 à 4 m).

On observe également une augmentation du nombre de vagues de sable, qui confirme que ces structures d'assez petite taille peuvent se former sur une période relativement courte, en tout cas inférieure à 4 ans.

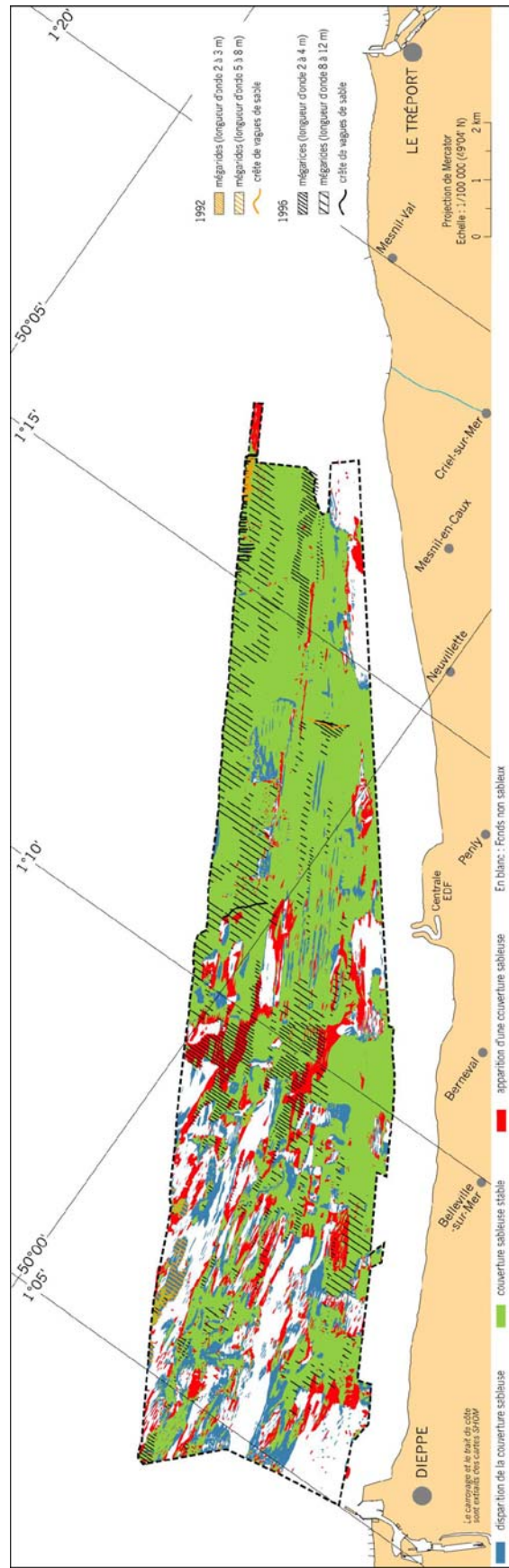
En 1996, la superficie de sables fins envasés est inférieure à celle de 1992 (2,4 %, contre 4,4 % en 1992), ce qui peut traduire notamment un recouvrement de ces sédiments par des sables fins à moyens.

Par contre, les 21 échantillons prélevés dans les très petits fonds présentent une augmentation des teneurs en particules fines par rapport à 1992 : deux échantillons de 1996 contiennent près de 25 % de fines alors que la teneur maximale observée en 1992 n'atteignait pas 20 % ; six en contiennent 10 à 20 %, treize en contiennent 3 à 10 %.

**Synthèse hydrobiologique du site du C.N.P.E. de Penly**  
**Chapitre 4 – Le domaine benthique – Compartiment sédimentologique**



**Figure 4.24 – Carte des formations superficielles en 1996**



**Figure 4.25 – Carte des évolutions de 1992 à 1996**

#### 4.5.2.2 Mesures de l'épaisseur des sédiments meubles

L'épaisseur totale de la couverture sédimentaire n'est pas mesurée systématiquement. Toutefois, les quelques profils de sismique-réflexion effectués lors de la mission océanographique de 1996 montrent (Fig. 4.26) :

- une épaisseur généralement faible, inférieure à 1 m, dans le compartiment occidental;
  - une épaisseur plus importante, pouvant dépasser 2 m, dans la partie Est du secteur oriental.
- Ces accumulations, plutôt liées à des incisions, n'ont pas de lien avec les ridins ou les vagues de sable.

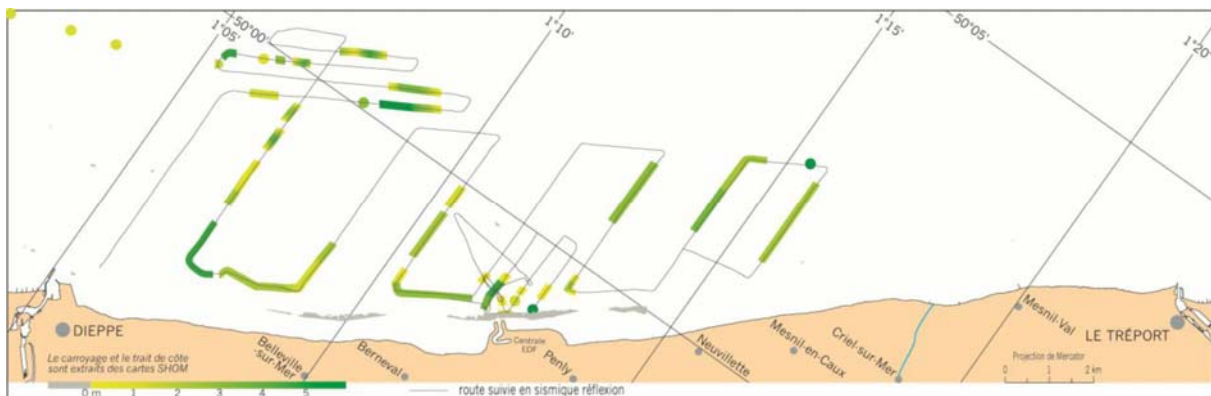


Figure 4.26 – Epaisseur de la couverture sédimentaire meuble (Ifremer, 1996)

Les mesures d'épaisseur de la couverture sableuse concernent surtout les petits fonds où la couverture sableuse est relativement épaisse. Les levés de sismique-réflexion de 1996 (campagne Ifremer) montrent que, devant Penly, la hauteur réelle de l'abrupt rocheux en terminaison de platier est de l'ordre de 5 m, la hauteur apparente n'étant que de 1 m environ, du fait de la couverture sédimentaire en bas d'abrupt. L'épaisseur de la couverture sédimentaire (4 m en pied d'abrupt) décroît rapidement vers le large. Les carottages réalisés en 1979 sur le site de Penly (Doris, 1981), sur le périmètre des futures bouches de rejet, ont traversé ces sables fins envasés. Le carottage le plus long (1,35 m) montre 0,85 m de sable fin gris argileux surmontant un niveau coquillier de 0,50 m, reposant sur un substrat dur (craie ou cailloutis). Les mesures de pénétrométrie indiquent une épaisseur totale de 1,2 à 2,8 m de sédiments.

L'ensemble de ces informations (structures sédimentaires, sismique-réflexion, carottages) est cohérent.

### **4.5.3 Modifications observées dans la zone commune en 2000**

La principale évolution par rapport à 1996 consiste en une très nette diminution de fréquence des mégarides, dont l'extension est redevenue comparable à celles de 1988 et 1992 (1 % de la superficie) (*Fig. 4. 27*) (*Drévès et al., 2002*).

L'évolution des fonds de 1996 à 2000 (*Fig. 28*) se caractérise également par la poursuite de l'extension des sables fins à moyens de l'ordre de 2 à 3 %, nettement plus faible que celle observée de 1988 à 1992 qui a été exceptionnelle sur les 12 années d'observation.

Dans le compartiment occidental, de Dieppe à Berneval, les variations sont fréquentes et aléatoires, tantôt dans le sens d'une formation de couverture sableuse, tantôt dans le sens d'une destruction.

Dans le compartiment oriental, de Berneval à Mesnil-Val/Le Tréport, l'extension de la couverture sableuse, relativement plus continue que sur le secteur précédent, évolue peu entre les deux levés, excepté localement, au niveau des roches du Muron, où la couverture sableuse a disparu sur le flanc ouest alors qu'elle s'est formée sur le flanc Est.

Près de la côte, les taches de sédiment envasé ne présentent que des variations de faible ampleur, comme cela avait été observé lors des levés précédents. L'examen granulométrique des quinze stations de prélèvement communes aux échantillonnages de 1996 et de 2000 permet, notamment, de comparer la teneur en particules fines des deux séries d'échantillons. Six échantillons montrent une augmentation nette de l'envasement, qui peut atteindre 10 %, alors que les neuf autres indiquent une diminution.

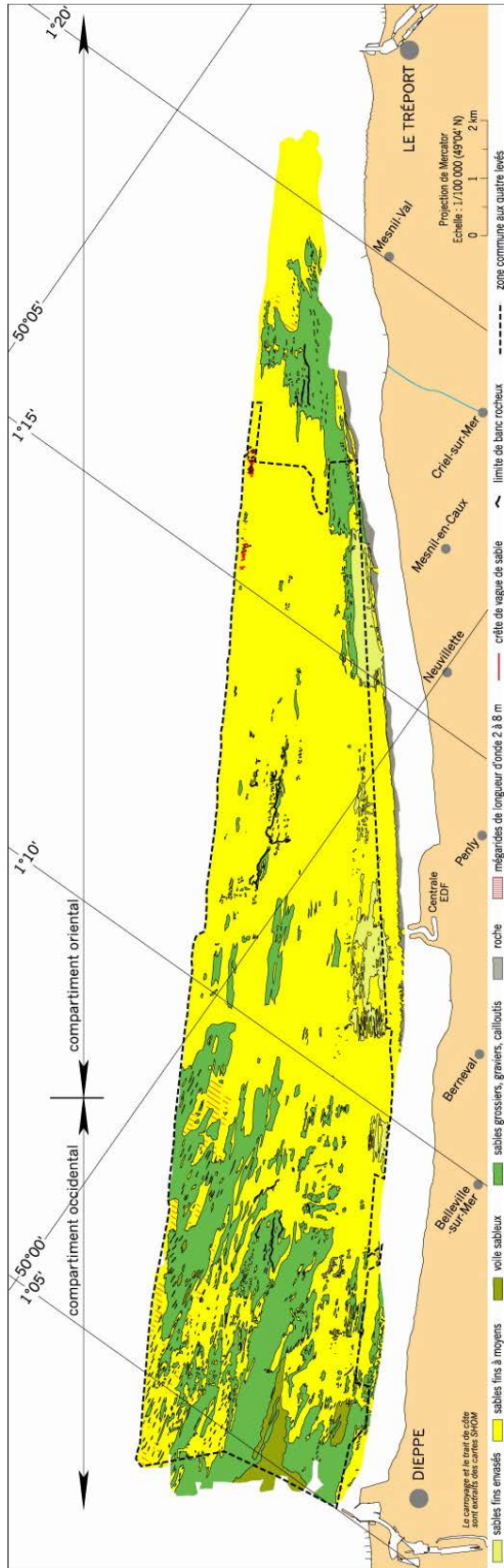
Les teneurs moyennes en particules fines sont inférieures à celles de 1996 (de 10 % en 1996 à seulement 7,5 % en 2000, soit une diminution de 25 %). On peut toutefois remarquer que les teneurs n'ont jamais retrouvé, malgré un nombre nettement plus élevé de prélèvements dans la zone de sédiment envasé, la valeur de 45 % identifiée en 1988.

### **4.5.4 Bilan des modifications observées dans la zone commune entre 1988-1989 et 2000**

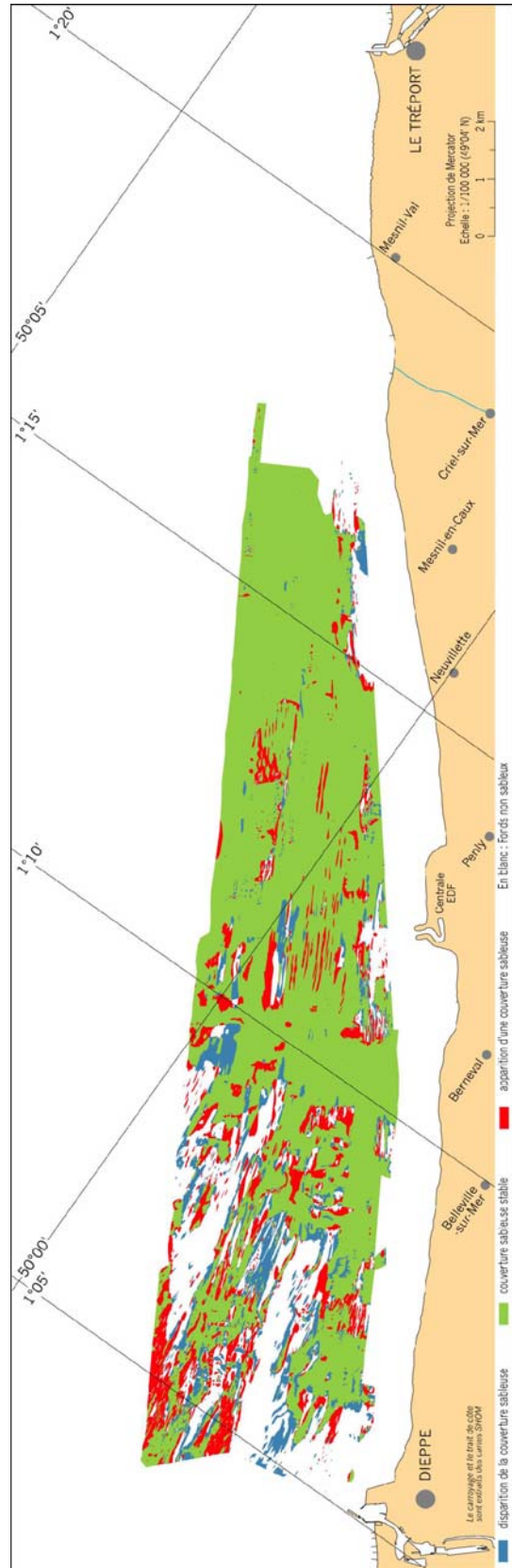
Les modifications constatées concernent principalement la couverture sableuse, dont l'extension et le modelé évoluent dans le temps.

Sur la zone commune aux quatre levés, les fonds sableux (sables fins à moyens) occupent des surfaces qui augmentent de 1988-1989 à 2000. Celles-ci passent de 59 % en 1988-1989 à 72 % en 2000, soit de 31 à 38 km<sup>2</sup> (surface totale de la zone commune = 52,5 km<sup>2</sup>). L'extension de ce faciès n'est pas régulière au cours du temps : elle est surtout importante entre 1988-1989 et 1992 (59 % en 1988-1989 et 68 % en 1992), beaucoup plus limitée ensuite. Elle se produit principalement dans le compartiment oriental alors que le compartiment occidental ne présente que de légères modifications du système de rubans sableux, sans modification de son orientation générale.

**Synthèse hydrobiologique du site du C.N.P.E. de Penly**  
**Chapitre 4 – Le domaine benthique – Compartiment sédimentologique**



**Figure 4.27 – Carte des formations superficielles en 2000**



**Figure 4.28 – Carte des évolutions de 1996 à 2000**

#### **4.5.5 Évolutions entre 2000 et 2004**

La carte réalisée à l'échelle du 1/10 000 (*Fig. 4.30*) montre une certaine stabilité des fonds dans la partie orientale de la zone, et une stabilité moindre dans la partie occidentale, de Dieppe à Penly. La taille des zones où la nature des fonds s'est modifiée est variable ; à l'Ouest, les variations sont multiples, et concernent de petites zones, en liaison avec le façonnement en rubans sableux. Par contre, au droit de Penly, la taille des zones augmente nettement, de pair avec une prédominance nette de la « disparition des sables moyens superficiels », qui correspond en fait à un remaniement par la houle. De Penly à Criel, la couverture sédimentaire est nettement moins modifiée.

La tendance globale consiste en une régression nette des fonds de sable moyen à fin, du fait du large développement des sédiments grossiers ridés, qui couvrent plusieurs km<sup>2</sup>.

Les sédiments ridés en 2004 se forment essentiellement - mais pas exclusivement - aux dépens de secteurs sableux en 2000

##### **4.5.5.1 Comparaison des échantillons communs aux levés de 2000 et 2004**

La comparaison des échantillons prélevés aux 8 stations communes aux levés de 2000 et 2004 montre des différences notables :

- 7 des 8 stations communes indiquent en 2004 une prédominance nette des sables fins et moyens, dont les teneurs cumulées sont comprises entre 80 et 94 %, alors qu'elles étaient comprises entre 30 et 55 % dans 5 de ces échantillons en 2000. De ce fait, les teneurs en sédiments grossiers sont nettement inférieures à celles de 2000 dans ces échantillons.
- les variations des teneurs en particules fines sont plus contrastées ; 5 échantillons montrent une diminution des particules fines (celles-ci sont d'ailleurs absentes dans 4 échantillons) ; par contre, 3 échantillons montrent une augmentation de cette teneur.

L'interprétation de ces variations est toutefois délicate, car celles-ci peuvent avoir plusieurs origines :

- l'utilisation d'outils de prélèvement parfois différents ; en effet, seules deux des 8 stations communes ont été échantillonnées avec la benne Hamon lors des deux levés ; les 6 autres ont été échantillonnées à la benne Hamon en 2000 et à la benne Van Veen en 2004,
- la position géographique des prélèvements, qui peut varier de quelques dizaines de mètres,
- les véritables variations sédimentaires entre les deux levés.

On peut toutefois penser que le changement de benne a une forte influence sur ces variations, les deux échantillons prélevés avec la même benne lors des deux levés présentant de faibles variations granulométriques.

##### **4.5.5.2 Influence du choix de la benne de prélèvement**

**Dans les sédiments sableux, des différences notables s'observent entre les échantillons des deux bennes. Ainsi, deux stations (B6 et B10) présentent en surface (benne Van Veen) un sable fin propre, de couleur grise, alors que son homologue prélevé à la benne Hamon est un sable fin gris, très envasé, collant.**

L'analyse granulométrique des échantillons prélevés à la station B16 (*Fig. 4.31*) montre à la fois une teneur en particules fines (argiles + silts) et en particules grossières (sable grossier,



gravier) plus importante dans l'échantillon prélevé à la benne Hamon que dans celui prélevé à la benne Van Veen. Ce résultat permet de mieux cerner la **répartition verticale des sédiments : les sédiments de surface sont mieux classés, et légèrement plus fins que ceux situés immédiatement au-dessous**. La taille moyenne du sédiment varie de 250 à 485  $\mu\text{m}$  en fonction de la benne utilisée.

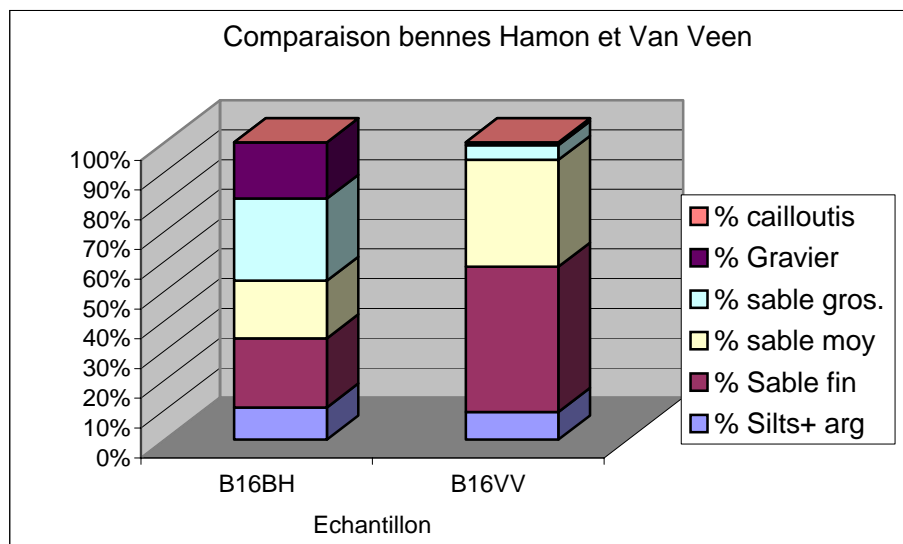


Figure 4.31 – Comparaison des sédiments prélevés avec les bennes Van Veen et Hamon à la station B16

Le contraste entre les sédiments prélevés à l'aide des deux bennes peut être marqué : alors que deux échantillons prélevés à l'aide de la benne Hamon contiennent des cailloutis, ainsi que du sable, et 13 % de silts et argiles, l'échantillon prélevé à la benne Van Veen ne contient que du sable fin gris. Cela semble indiquer un classement vertical des sédiments, avec des sables fins superficiels, et la présence de cailloutis à une vingtaine de cm dessous, ce qui traduit bien la faible épaisseur de la couche sableuse en ce point.

Le principal apport de la mise en œuvre de la benne Van Veen est une meilleure adéquation entre les caractéristiques granulométriques de l'échantillon et l'imagerie sonar, du fait d'une épaisseur de prélèvement moindre.

#### 4.5.5.3 Les fonds à forte colonisation biologique

Un faciès acoustique inédit a été observé au droit de Dieppe. Calibré par un prélèvement à la benne, il correspond à un sédiment grossier (graviers et galets), colonisé à la fois par des moules et des crépidules. Ce faciès acoustique a été identifié en une douzaine de petites zones disséminées dans le compartiment occidental, entre Dieppe et Berneval (Fig. 4.29). Ces zones colonisées, de 100 à 500m de longueur, pour une largeur de 100 à 300m, ont généralement une forme étirée selon l'axe des courants, et sont associées au sédiment grossier.

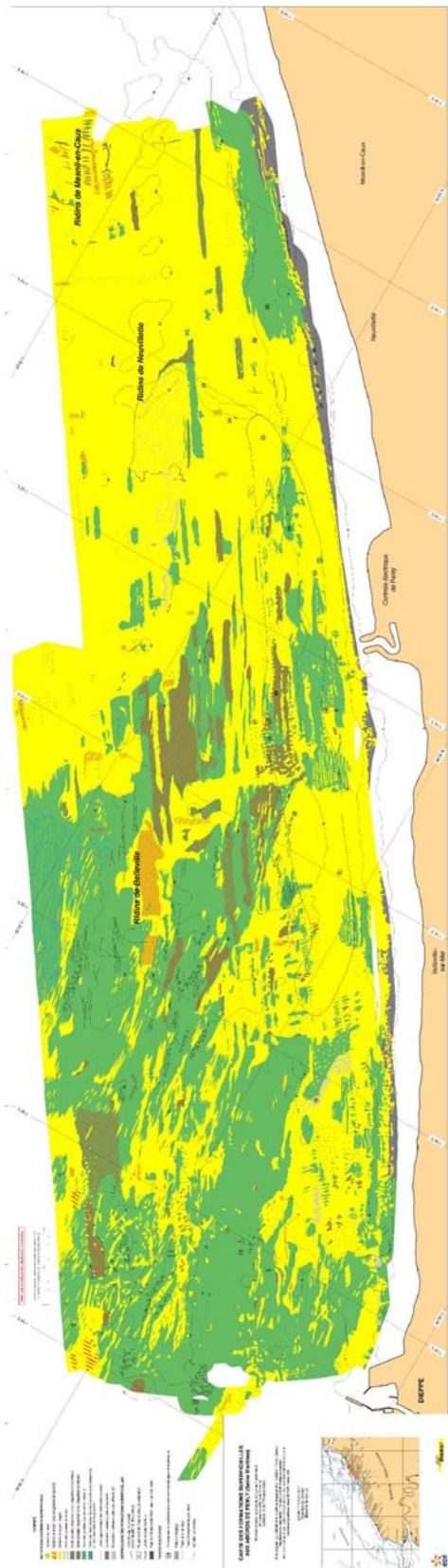


Figure 4.29 – Carte des formations superficielles en 2004

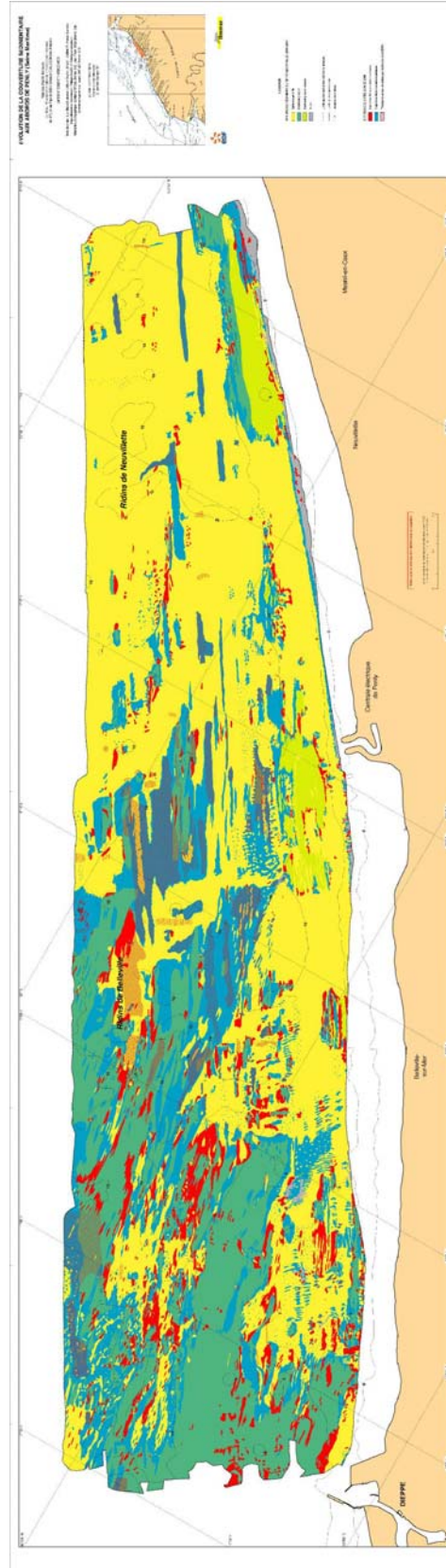


Figure 4.30 – Carte des évolutions de 2000 à 2004

### **4.5.6 Description du site en 2008 et évolutions entre 2004 et 2008**

Outre la cartographie des formations superficielles, effectuée à l'aide du sonar latéral (*Fig. 32*) et sa comparaison avec son homologue de 2004, le levé de 2008 se différencie en partie des précédents par :

- la réalisation d'un levé bathymétrique partiel, réalisé à l'aide d'un sondeur multi-faisceaux, limité à la partie la plus côtière du site, jusqu'à des profondeurs de 13 à 14 m,
- l'utilisation de la benne Van Veen pour le prélèvement des échantillons destinés à l'analyse sédimentologique, qui permet d'établir pour la première fois une zonation des classes granulométriques des prélèvements de sédiments

#### **4.5.6.1 Informations fournies par le levé bathymétrique**

##### **La terminaison du platier rocheux d'estran.**

- A l'Ouest de la centrale de Penly, la roche se termine vers 3m de profondeur, et passe progressivement au sable fin côtier.
- Devant la centrale et jusqu'à 2 km à l'Est de celle-ci, la base de la roche se situe vers 2 à 3m de profondeur, avec une pente moyenne relativement peu accentuée, et un dénivelé entre fonds rocheux et sableux de taille métrique.
- Plus à l'Est, la base de la roche se situe vers 5 à 6 m de profondeur. Un abrupt terminal est clairement identifié à 3 km à l'est de la centrale ; son dénivelé apparent est de 3m, mais il n'est pas couvert dans sa totalité. En 2004, cet abrupt, recoupé transversalement dans sa totalité, présentait un dénivelé de plus de 6m à 3 km à l'Est de la centrale.
- Devant les roches du Muron, sur un linéaire de 3 km environ, la limite inférieure de la roche se situe à une profondeur moyenne de 5 m. La transition avec les fonds grossiers du large est marquée par des placages sableux discontinus, nettement étirés dans le sens des courants. De petits affleurements rocheux s'observent au sein des sédiments grossiers vers 6 à 7m de profondeur, ces sédiments grossiers se développent quant à eux jusqu'à 10 à 11 m de profondeur.

##### **- les « amas de blocs et de cailloutis » :**

Ces amas de blocs et des cailloutis, de même que ceux qui prolongent les roches du muron, se situent entre 5m et 10 à 11m de profondeur.

Entre ces cailloutis adossés aux roches du Muron, sur près de 3km, entre Neuville et Mesnil-en-Caux, et le platier de Dieppe, plusieurs amas de blocs et de cailloutis sont observés, comme lors des levés précédents, au droit de la centrale, et de part et d'autre de celle-ci. Celui situé au droit de la centrale présente le relief le plus marqué (1 à 2m de hauteur), alors que les autres ont une hauteur métrique.

Une bouche de rejet de la centrale est clairement identifiée au droit de la centrale, et présente un dénivelé de l'ordre de 3m par rapport au fond environnant.

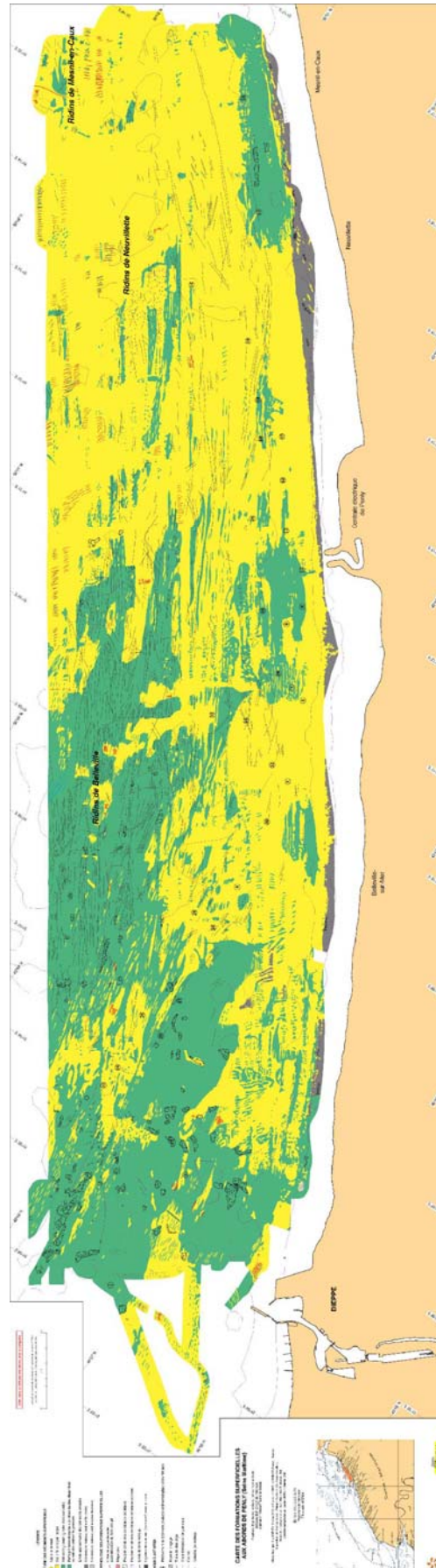


Figure 4.32– Carte des formations superficielles de 2008

#### 4.5.6.2 Analyse granulométrique des échantillons

Comme lors des levés précédents, les sédiments sont très variés sur le site, des cailloutis purs aux sables fins envasés (Fig. 4.33), et présentent un **classement généralement mauvais** ; l'indice So de Trask est compris entre 1,24 et 4,59. Aucun échantillon n'est très bien ou même bien classé.

Station	Silts argiles	+	Sable fin	Sable moyen	Sable grossier	Gravier	Cailloutis
BVV1							
BVV2							
BVV3	68,18		21,12	9,76	0,94	15,59	
BVV4	0		18,06	46,24	35,69	0,73	
BVV5	27,43		45,91	26,37	0,29	0	
BVV6	1,37		68,83	29,81	0	0,85	
BVV7	0		63,58	36,39	0,02	0,75	
BVV8	6,21		62,67	31,11	0,02	0,18	
BVV9							100
BVV10	0		29,08	32,56	38,36	1,57	
BVV11	20,63		49,03	26,86	3,48	2,77	
BVV12	0		70,64	29,36	0	0,35	
BVV13	7,6		48,61	41,54	2,25	1,49	
BVV14	2,57		17,94	39,27	40,22	4,56	
BVV15	7,93		35,58	29,31	27,19	10,23	
BVV16							100
BVV17							100
BVV18	0		2,67	34,81	62,52	7,64	
BVV19	8,17		35,26	37,26	19,31	0,22	
BVV20							100
BVVDCE	26,96		34,53	32,05	6,43	11,77	
Bvv 22							100
Bvv 23	0		34,16	50,59	15,25	0,41	
Bvv 24	0		32,18	51,13	16,69	2,96	
Bvv 25							
Bvv 26							100
Bvv 27							100
Bvv 28	0		7,09	38,43	54,47	5,3	
Bvv 29	0		13,9	44,16	41,94	1,13	
Bvv 30	0		53,42	45,27	1,31	0	
Bvv 31							
Bvv 32	7,76		50,29	40,95	1	0,15	
Bvv 33	0		19,87	41,19	38,94	3,35	
Bvv 34							100
Bvv 35							
Bvv 36	49,99		21,97	20,78	7,26	1,7	
Bvv 37	4,05		78,53	17,42	0	0,26	
Bvv 38	7,31		57,45	29,33	5,91	0,49	
Bvv 39							100
Bvv 40	0		38,97	55,65	5,39	0,18	

Figure 4.33 – Granulométrie des échantillons de la mission Bencaux 2008

#### 4.5.6.2.1 Répartition géographique des sédiments

Les sédiments prélevés à l'aide de la benne Van Veen, représentatifs de la couche la plus superficielle, en équilibre avec l'hydrodynamisme, font l'objet d'une analyse sédimentologique de chacune de leur fraction granulométrique, de manière à obtenir une zonation, malgré l'imbrication des différentes classes granulométriques :

Quatre des cinq échantillons prélevés sur le **platier de Dieppe** montrent une faible quantité de sédiment, de nature variée, qui témoignent d'une couverture sédimentaire réduite, discontinue. L'échantillon Bvv3 se différencie par la présence de crépidules, abondantes, et de sédiment sablo-vaseux. Comme l'échantillon voisin Bvv2, ils se situent dans un secteur déprimé du platier de Dieppe.

Les échantillons prélevés le long du complexe de rubans sableux **entre la zone de clapage et la centrale de Penly** sont soit des sables fins à moyens propres (Bvv23 et 24), soit des cailloutis (Bvv26).

Les deux échantillons prélevés dans le **secteur des Roches du Muron** (Bvv16 et Bvv17) sont uniquement composés de cailloutis.

Tous les autres échantillons, au nombre de 29, prélevés dans les « petits fonds » de Penly, se composent soit de sables plus ou moins envasés, soit, localement, de cailloutis de silex.

#### 4.5.6.2.2 Analyse des échantillons par fraction granulométrique

Les échantillons prélevés étant représentatifs de la couche sédimentaire la plus superficielle, en équilibre avec les conditions hydrodynamiques, ils ont fait l'objet d'une analyse de répartition par fraction. Une telle analyse ne présentait que peu d'intérêt pour les échantillons des missions précédentes, représentatifs d'une couche plus épaisse et plus hétérogène.

Comme lors des levés précédents, l'envasement est variable et discontinu. Parmi les échantillons de 2008, on trouve deux sédiments très envasés (Fig. 4.34), contenant plus de 40% de fraction argilo-silteuse (taille inférieure à 63 $\mu$ m), situé sur le platier de Dieppe (Bvv3, déjà très envasé en 2004), et au droit de la centrale (Bvv36).

Plusieurs échantillons nettement envasés, contiennent 20 à 40% de fraction argilo-silteuse : (Bvv5, Bvv11), à l'ouest face à la centrale). Tous sont situés dans les petits fonds du compartiment oriental.

L'échantillon BvvDCE est prélevé à l'Ouest de Dieppe, sur le point de suivi DCE.

Des échantillons contenant de 2 à 8% de fraction argilo-silteuse sont prélevés aux abords de la centrale de Penly (Bvv8, 14, 15).

A l'inverse, plusieurs échantillons totalement dépourvus de fraction argilo-silteuse sont identifiés, en particulier à l'Ouest de la centrale, mais également au droit du canal d'amenée.

Les sables fins (taille de 63 à 250 $\mu$ m) à moyens (250 à 500 $\mu$ m) sont principalement localisés de part et d'autre de la centrale de Penly, à faible profondeur (Fig. 4.35). Au droit du canal d'amenée de la centrale, leur teneur est un peu plus faible, mais reste élevée (plus de 60%). La zone de 8 km de long dans laquelle ils sont prédominants est aussi celle où se concentre la fraction argilo-silteuse. La corrélation entre fraction fine et sables fins n'est cependant pas systématique. Dans les 8 échantillons les plus envasés, les teneurs en sables fins et moyens dépassent 80%, mais tous les sables fins à moyens ne sont pas pour autant envasés. 4 échantillons de sables fins et moyens sont dépourvus de fraction fine.

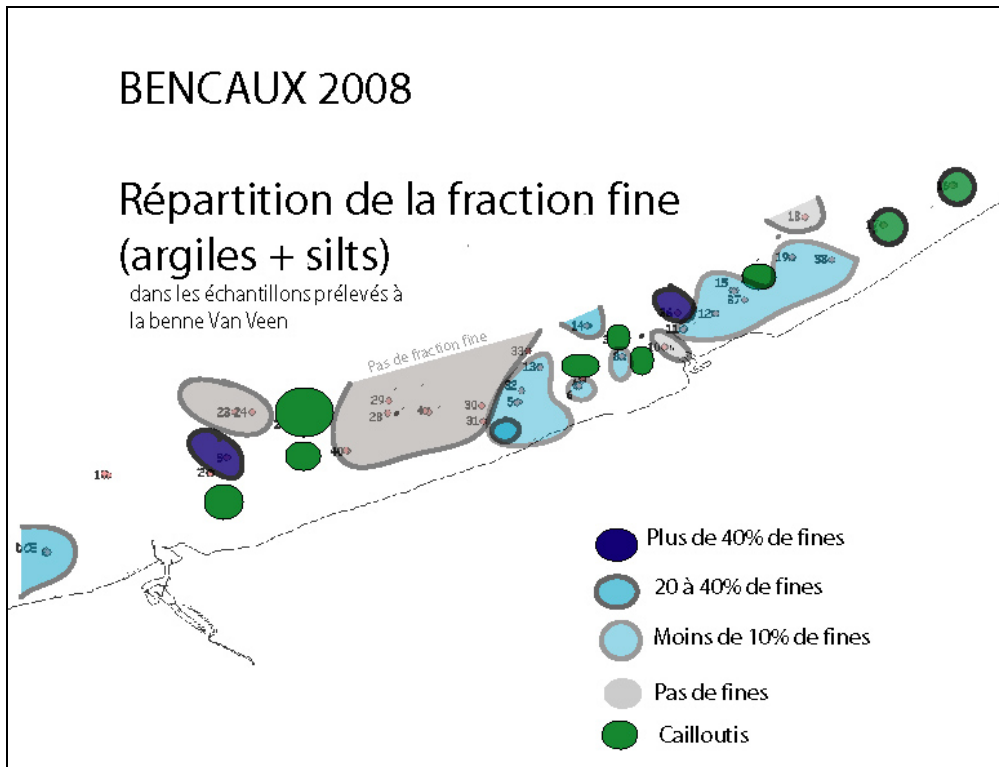


Figure 4.34 – Répartition de la fraction fine dans les échantillons de la mission Bencaux 2008

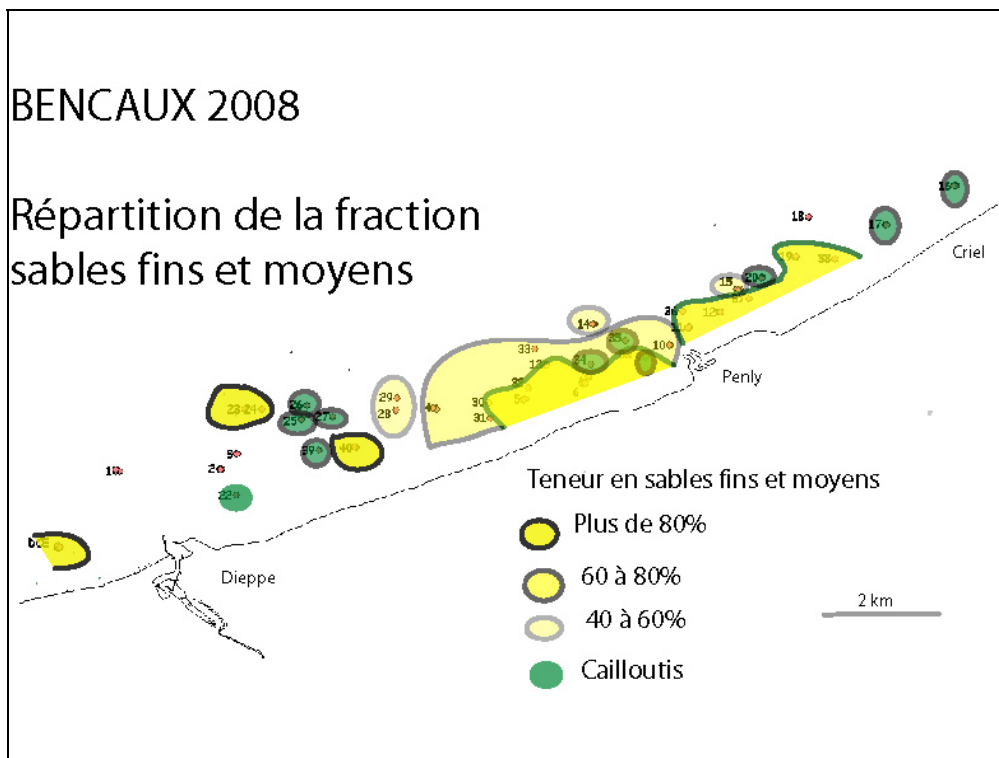


Figure 4.35 – Répartition des sables fins et moyens dans les échantillons de la mission Bencaux 2008

Les sables grossiers et les graviers sont, à l'inverse des sables fins à moyens, peu abondants dans les petits fonds (Fig. 4.36). Ils sont principalement localisés un peu plus au large, au-delà des amas caillouteux, où ils peuvent constituer 40 à 60% du sédiment total.

Un début de structuration de la couverture sédimentaire s'observe donc de la côte vers le large, avec :

- des sables fins plus ou moins envasés près de la côte,
- des amas caillouteux parfois surmontés d'une couverture sablo-vaseuse,
- des sables grossiers coquilliers un peu plus au large,

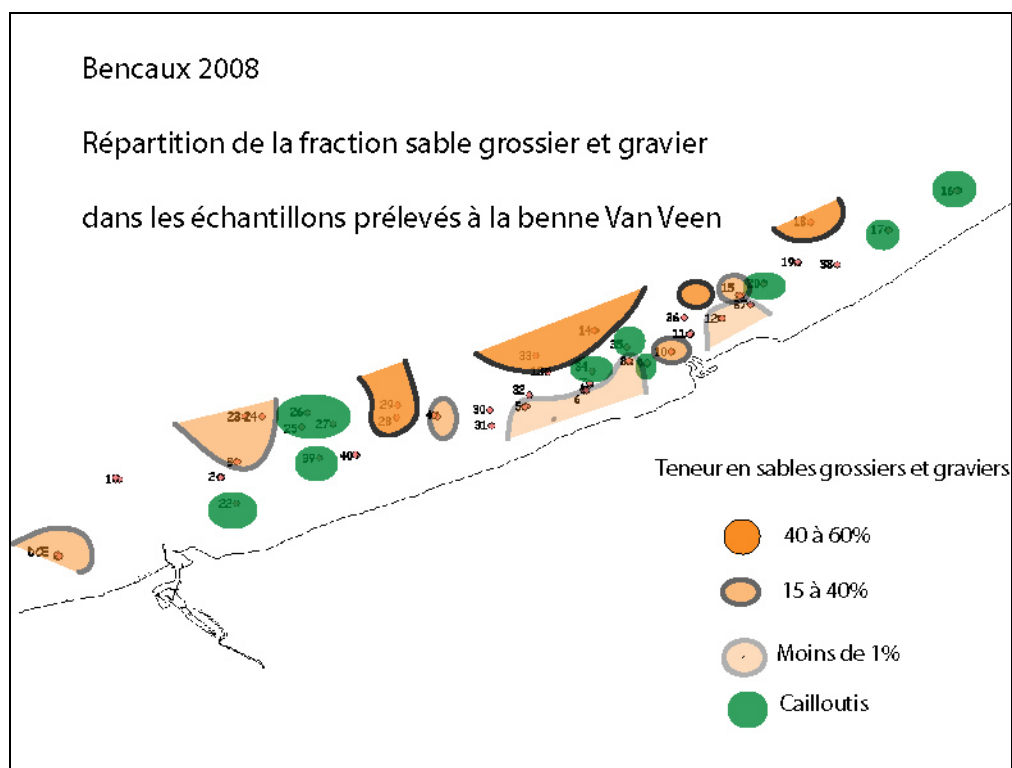
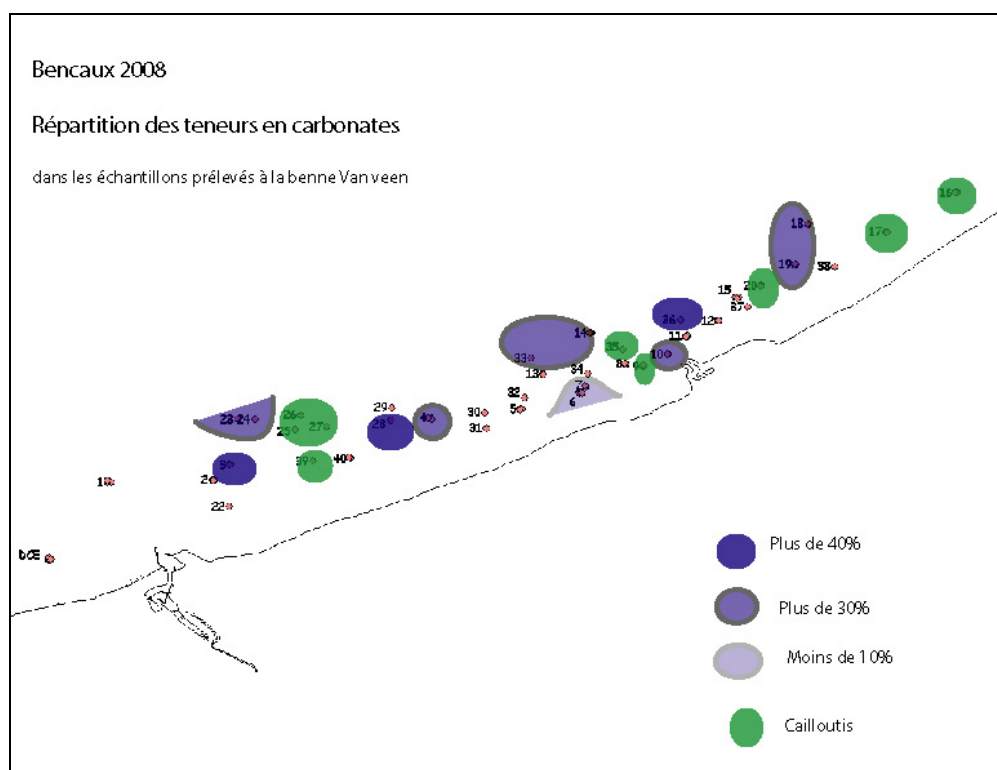


Figure 4.36 – Répartition de la fraction sables grossiers dans les échantillons de la mission Bencaux 2008

Les teneurs en calcaire (*Fig. 4.37*) sont élevées dans deux types de sédiments : les échantillons très envasés (Bvv3 et Bvv36), et dans des échantillons riches en fraction sable grossier/gravier. Ceci montre que les **carbonates sont liés soit aux débris coquilliers, soit à la boue crayeuse.**

On n'observe par contre pas de lien évident entre la teneur en calcaire et le classement du sédiment, ce qui indique que les débris coquilliers ne sont pas à l'origine du mauvais classement du sédiment.





**Figure 4. 37 – Répartition des carbonates dans les échantillons de la mission Bencaux 2008**

Après le levé de 2008, on peut affiner la zonation du secteur étudié, (Fig. 4.38), dans chacun des deux compartiments majeurs, occidental et oriental :

**Le platier de Dieppe, ou compartiment occidental**, caractérisé par un substrat crayeux sub-affleurant, sur lequel est installée une couverture sédimentaire réduite de cailloutis et de sables peu épais. De la côte vers le large, on observe :

- De part et d’autre des jetées portuaires de dieppe, un secteur amont où l’orientation des transits sableux sur le fond est modifiée par l’ouvrage, et en aval, un secteur d’abri, où se forme une couverture sableuse continue.
- Immédiatement au large, le platier « interne », à dominante grossière au droit de Dieppe, et devenant progressivement sableux vers l’Est. La présence de roche ou de cailloutis indique toutefois une faible épaisseur de la couverture sableuse.
- Plus au large, le « platier externe », à morphologie irrégulière, est en partie utilisé aussi pour le dépôt d’explosifs et de rejets de dragage du port de Dieppe et de la centrale de Penly. Il se caractérise par une couverture sédimentaire complexe, grossière ou sableuse, orientée obliquement à la côte.

Les variations observées sur le platier sont peu significatives, dans la mesure où elles ne concernent que des placages sableux peu importants, présents ou non lors de levés successifs. En 2008, l’évolution la plus significative est la surface plus importante de roche sub-affleurante, dans la partie orientale du platier. Cette roche est en effet plus ou moins couverte de sédiments grossiers et de sable ; en 2008, la couverture sableuse est plus discontinue et laisse entrevoir le substrat.

De même, le vaste complexe de rubans et de taches sableuses, qui occupe à chaque levé la « partie externe du platier de Dieppe », et qui présente de multiples variations au cours du

temps, témoigne d'une mobilité de la couverture sédimentaire, et d'une alimentation du compartiment oriental depuis l'Ouest.

**Le compartiment oriental** peut être subdivisé, de la côte vers le large, en :

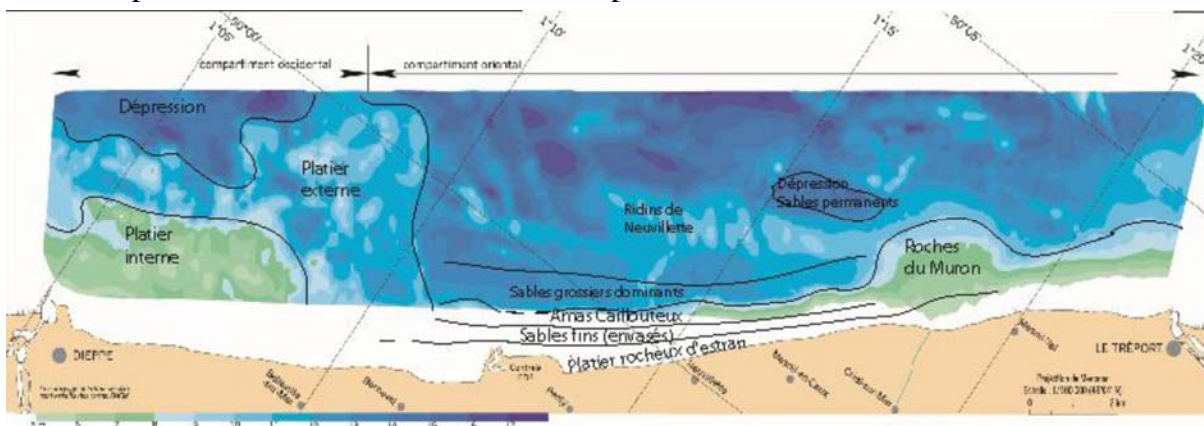
- Un platier rocheux, qui prolonge l'estran, et se termine vers 2 à 3m de profondeur par un abrupt rocheux plus ou moins marqué, Le contraste entre l'Ouest et l'Est de la centrale de Penly est bien marqué ; à l'Ouest de la centrale, le sable est accumulé en volume tel qu'il masque totalement l'abrupt rocheux, et « déborde » sur l'estran, dans la continuité de l'accumulation sableuse observée sur l'estran lui-même (plage de Penly). L'alimentation de la plage et les échanges sédimentaires entre plage et petits fonds sont donc possibles dans cette configuration. La continuité granulométrique entre sables de pied d'estran et des petits fonds marins témoigne de ces échanges. A l'Est de la centrale de Penly, par contre, la hauteur apparente de l'abrupt est plus importante et croissante vers le Nord-Est, ce qui rend les échanges beaucoup plus difficiles,
- les petits fonds marins, jusqu'à 11 m de profondeur moyenne, caractérisés par des sédiments superficiels dominés par une fraction de sables fins, lors de chacun des levés, et par un alignement des amas caillouteux, surmontés ou non de dépôts sablo-vaseux. Ces petits fonds sont susceptibles de s'envaser notablement, mais de manière variable et transitoire, sans différenciation entre l'Ouest et l'Est de la centrale.
- Le secteur des sables grossiers dominants, au large, interrompu par un secteur de roche sub-affleurante, simplement surmonté d'une couverture discontinue de sable, cailloutis ou de blocs, à l'Ouest des Ridins de Neuville.

Cette zone est celle qui présente des variations de faciès importantes dans le temps, avec un « faciès hétérogène » en 1996, un faciès « sableux » plus homogène en 2000, un faciès grossier ridé en 2004, et enfin un faciès sableux plus homogène en 2008.

La tendance dominante à « l'apparition d'une couverture sableuse » observée de 2004 à 2008 représente une inversion de tendance par rapport à celle de 2000 à 2004, où la couverture sableuse s'était réduite.

A l'extrémité orientale :

- Les roches du Muron, où la roche qui affleure près de la côte est en grande partie surmontée d'un drapage caillouteux à mesure qu'on s'éloigne de celle-ci.
- Au large de cet ensemble, une dépression, dans laquelle se développent de manière permanente des mégarides de courant et de petites vagues de sable, dont la présence exprime un stock sédimentaire assez important.



**Fig. 4.38 : Zonation schématique du secteur**

Dans ce secteur des petits fonds de Penly, la bonne correspondance entre l'imagerie sonar et la granulométrie des sédiments, liée à utilisation benne Van Veen, permet de montrer un début de structuration de la côte vers le large. On observe ainsi des sables fins plus ou moins envasés près de la côte, des amas caillouteux parfois surmontés d'une couverture sablo-vaseuse, des sables grossiers coquilliers un peu plus au large. Toutefois, les différentes classes sont « imbriquées » les unes dans les autres, ce qui conduit à la présence des différentes fractions granulométriques dans un même échantillon.

L'évolution du site ou plutôt la « variabilité » de la couverture sédimentaire n'est pas un phénomène continu au cours du temps, et les variations se produisent probablement en un laps de temps assez court, de l'ordre de quelques jours (effet des tempêtes) à quelques mois (mécanismes d'accumulation par beau temps), de manière analogue aux ensablements constatés dans le chenal.

#### 4.5.6.3 Observation de traces d'activité anthropique sur le fond

##### 4.5.6.3.1 Traces d'engins de pêche

De nombreuses traces laissées par les engins de pêche sont visibles sur le fond. Elles sont observées de manière récurrente, sur les levés de 1988, 1992, 1996, 2000 et 2008.

Le levé de 2004 se caractérise par un nombre très limité de traces de chalutage (quelques dizaines au maximum). De plus, ces traces sont assez peu marquées et ont une extension réduite. Ce faible développement des traces d'engins de pêche semble attribuable à l'action de la houle, qui a atténué ou fait disparaître plupart d'entre-elles, parallèlement au remaniement des fonds sablo-graveleux.

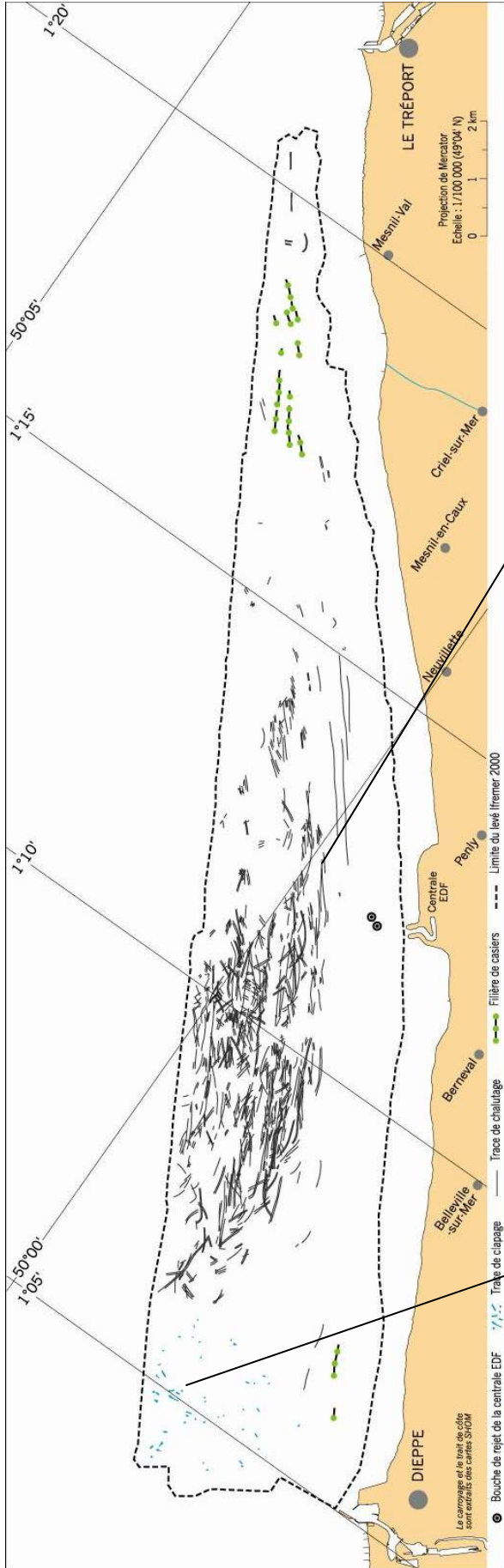
Ces traces sont de deux types :

- traces de chalutage d'une part, qui se marquent par deux lignes sombres, étroites et parallèles (*Fig. 4.39*) ;
- traces de drague d'autre part, plus marquées que les traces de chalutage et larges de 2 m environ.

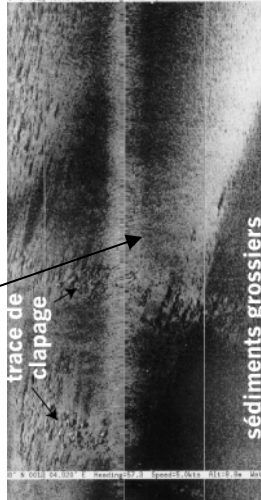
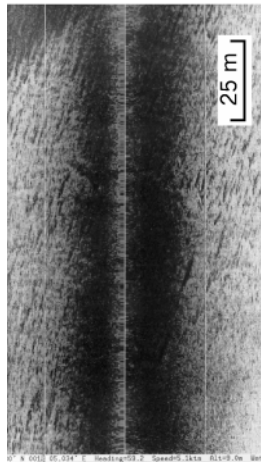
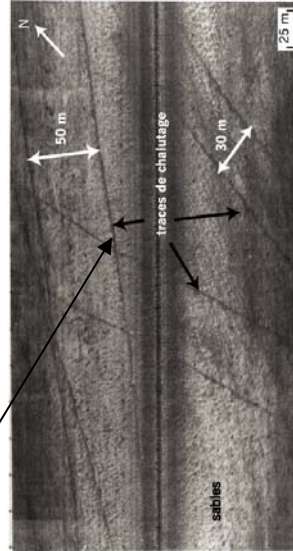
Les traces de chalutage sont observées jusqu'à une distance à la côte de 1 mille environ, sur chacun des levés du sonar latéral réalisés. Ponctuellement, des filières de casiers peuvent également être observées sur les sonogrammes.

##### 4.5.6.3.2 Traces de clapage de déblais portuaires

Les sédiments dragués dans les ports sont rejetés (« clapés ») en mer, sur des sites autorisés par la convention d'Oslo. Lors des levés cartographiques, les impacts de ces dragages ont été observés sur le fond, au droit de Dieppe et du Tréport (*Fig. 4.39*). Au Nord-Ouest de Dieppe, une quarantaine d'impacts de clapage portuaire ont été ainsi repérés sur une superficie de 5 km<sup>2</sup> environ, à l'intérieur et autour du périmètre réglementé.



**Fig. 4.39 – Panorama des traces anthropiques observées sur le site en 2000 et exemples de traces de chalutage et de clapage**



#### 4.5.6.4 Les fonds à forte colonisation biologique

La présence de crépidules a été confirmée par prélèvement à la benne et sur l'imagerie sonar, principalement dans le compartiment occidental (platier de Dieppe et couloir d'alimentation, au large du platier) – 12 points – et dans une moindre mesure à l'extrémité orientale du secteur étudié (B 17).

Une quarantaine de zones colonisées ont été identifiées en 2008. De taille variable, elles sont principalement localisées au droit de Dieppe – Berneval. Leur taille et leur nombre décroît d'Ouest en Est du secteur.

Les validations ont montré que les fonds sont bien colonisés par des crépidules, et non par des moules, et que celles-ci sont abondantes dans la benne, même lorsque le faciès est à peine discernable sur les sonogrammes.

A l'inverse, quelques zones colonisées en 2004 ne sont pas apparues comme fortement colonisées en 2008, en raison de la présence de sable superficiel, qui masque en partie le peuplement.

Les peuplements identifiés semblent préférentiellement implantés sur des fonds grossiers ou rocheux ; on n'en rencontre par contre pas sur les fonds sableux, probablement en raison de la stabilité des premiers, et de la mobilité des seconds.

L'un des points les plus densément peuplés (Bvv3), situé sur le platier de Dieppe, est aussi le point le plus riche en fraction argilo-silteuse. Dans cet environnement du platier de Dieppe, où l'intensité des courants et des houles interdit tout dépôt sableux conséquent, on peut penser que la densité du peuplement de crépidules sur le fond et l'envasement local constaté sont liés.

Comme cela avait déjà été signalé en 2004, le peuplement de crépidules est probablement plus important que ce qui est identifié sur la carte. En effet, le sonar n'identifie les crépidules qu'à partir d'une certaine densité sur le fond. On a d'ailleurs pu constater que la diminution de portée, et donc l'augmentation de définition du sonar permettait d'identifier des secteurs colonisés non identifiables avec une portée de 100m. De plus, même pour un faciès « colonisé » peu marqué, le nombre de crépidules récolté dans une benne est déjà significatif.

La dispersion du peuplement, la multiplication apparente de petites zones, depuis 2004, ainsi que la densité de traces d'engins de pêche sur le fond pourraient indiquer une influence forte du chalutage dans l'évolution de la répartition du peuplement, qui s'ajoute à celle des courants.

L'identification en 2008 de fonds grossiers colonisés par des peuplements biologiques de densité suffisante pour être détectés au sonar vient confirmer le développement des peuplements de crépidules sur le site.

Ce développement se traduit par une multiplication de petites zones colonisées, plutôt que par l'extension de zones déjà colonisées. Le chalutage intense sur le site pourrait être un facteur de cette dissémination de petites zones colonisées.

#### **4.6 Connaissances acquises dans les secteurs « périphériques »**

Le site de Dieppe – Criel est le seul du littoral français à avoir fait l'objet d'un suivi quadriennal, dans le cadre du suivi environnemental de la centrale de Penly. Toutefois, d'autres secteurs de Manche orientale (Fig. 4.40) ont été cartographiés à l'aide de techniques analogues : la façade du Nord – Pas de Calais entre 1984 et 1988.

Lors de plusieurs missions de suivi du site, des secteurs périphériques ont été cartographiés par l'Ifremer ; c'est le cas notamment en 1996, où le secteur de Dieppe à la pointe d'Ailly a été couvert, en 1992 et 1996, où le levé a été étendu au nord de la zone contractuelle, en 2004, où une reconnaissance sommaire a été réalisée entre Le Tréport et la Baie de Somme.

Par ailleurs, un secteur à 12 milles au large de Dieppe a été cartographié en 1993, dans le cadre d'une recherche de site de clapage.

Le secteur d'Antifer à Ailly a quant à lui été cartographié en 2006 par l'Ifremer.

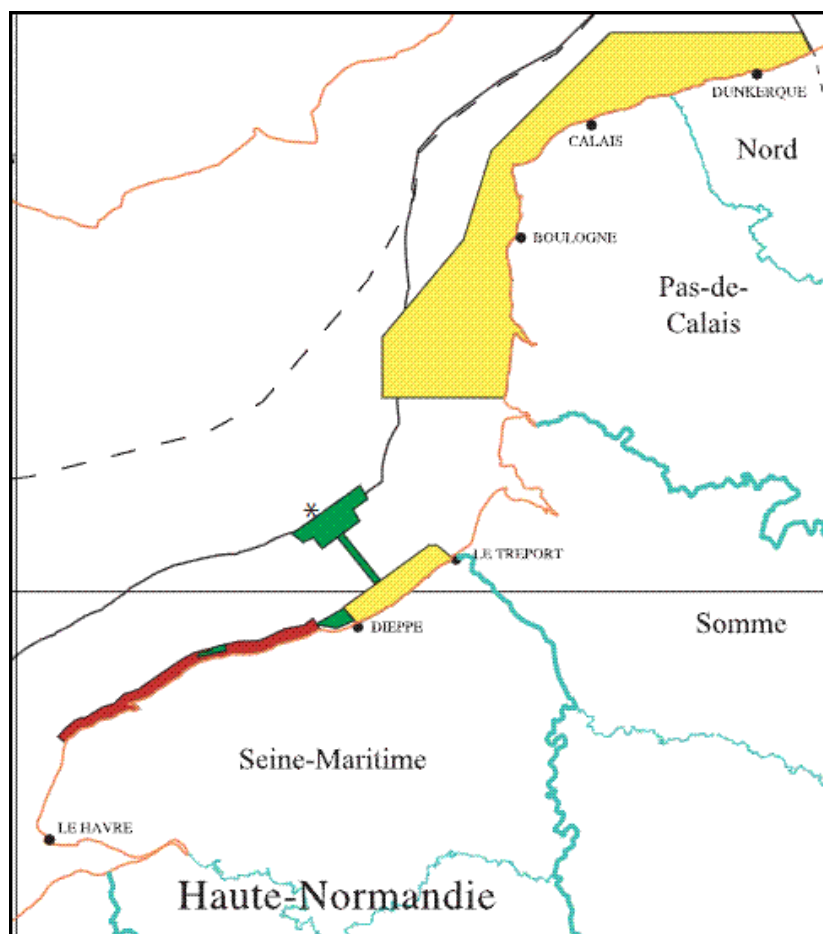
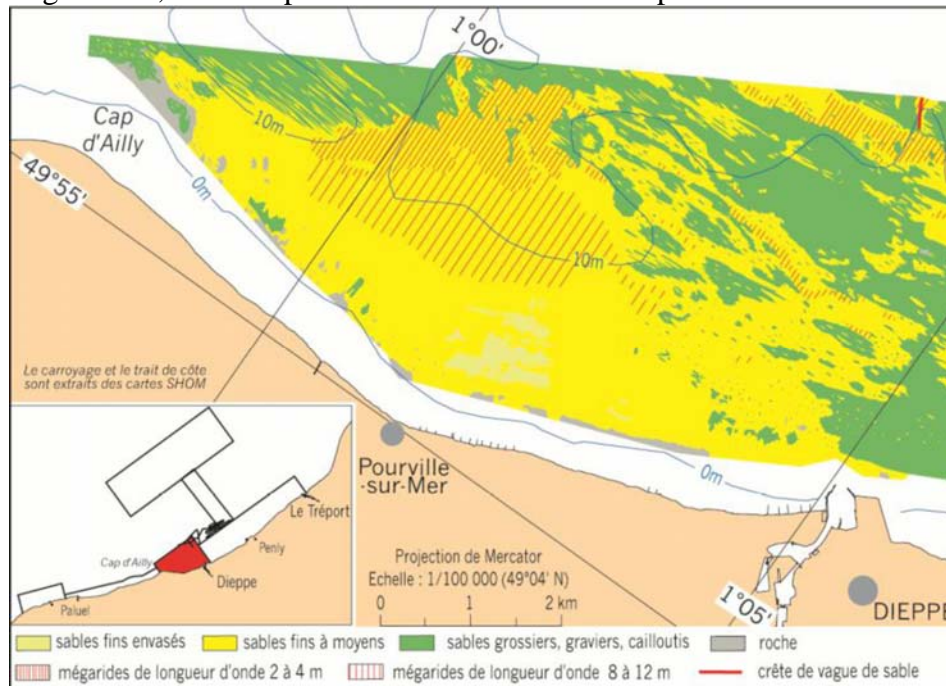


Figure 4.40 – Secteurs cartographiés en Manche orientale (Source Ifremer)

### 4.6.1 En amont de Dieppe

La couverture complète des fonds entre Dieppe et le cap d'Ailly, en 1996, a permis de mettre en évidence trois entités, qui se succèdent d'Est en Ouest (Fig.4. 41).

- À l'Ouest immédiat de Dieppe, dans le prolongement du compartiment occidental du secteur Dieppe-Le Tréport, la couverture sableuse est discontinue, composée de bandes sableuses larges (10 à 200 m), localement modelées par des mégarides et de fenêtres de sédiments grossiers, formées par érosion locale des sables par les courants.



**Fig. 4.41 – Carte des formations superficielles entre le cap d'Ailly et Dieppe, en 1996**

- Plus à l'Ouest, une zone de près de 7 km de long, présente des affinités avec le compartiment oriental du secteur Dieppe-Le Tréport :
  - des affleurements rocheux jusqu'à une profondeur comprise entre 3 m à l'Est et 5m à l'Ouest ;
  - une couverture sableuse continue jusqu'à une distance maximale de 3 km vers le large aux abords de Pourville. Entre 5 et 8 m de profondeur, elle se compose de sables fins, localement envasés, dépourvus de mégarides de courant. Entre 8 et 12 m, elle passe à des
  - sables moyens modelés par des mégarides de courant, dont la crête est orientée Nord-Sud et dont la longueur d'onde varie de 2 à 3m au large et près du cap, jusqu'à 10 à 12 m vers la côte et vers Dieppe;
  - des sédiments grossiers, à l'Ouest et au large de cette zone sableuse, surmontés de nombreux rubans sableux, orientés Ouest-Est, étroits (10 à 20 m), très longs (plusieurs centaines de mètres, voire 1 km) et rectilignes. Ils convergent rapidement vers l'Est pour passer à une couverture sableuse continue.
- Au droit du cap d'Ailly, une zone spécifique montre des affleurements rocheux se prolongeant au-delà de 5 m de profondeur. Vers le large, les fonds sont à dominante grossière à l'Ouest du cap et à dominante sableuse à l'Est. La couverture sableuse est assez continue, mais elle laisse apparaître des fenêtres de sédiments grossiers, sur plusieurs dizaines de mètres de longueur, dues à des marques d'obstacles en aval de blocs de roche ou de silex par rapport au courant dominant de flot.

▪ **Interprétation**

- La répartition des figures sédimentaires, notamment le passage des rubans sableux à une couverture sableuse continue immédiatement en aval-dérive du cap d'Ailly, confirme l'alimentation du système sédimentaire Dieppe-Le Tréport depuis l'Ouest.
- L'orientation des figures sédimentaires traduit l'influence morphologique du cap sur les courants ; d'abord orientés Ouest-Est du cap d'Ailly à Dieppe, ceux-ci s'orientent progressivement Sud-Ouest-Nord-Est à l'Est de Dieppe, en devenant parallèles à la côte.
- Près de la côte, la présence des sables fins envasés traduit une diminution de la vitesse des courants et un effet d'abri en aval du cap. Ces sédiments fins ne peuvent en effet se maintenir que dans les secteurs abrités ou lorsque des organismes benthiques viennent accélérer leur dépôt et favoriser leur fixation.

La zonation des sables fins envasés près de la côte et des sables moyens plus au large est identique à celle observée entre Berneval et Criel-sur-Mer. Les deux secteurs ne sont d'ailleurs séparés que par les fonds rocheux des abords de Dieppe, qui constituent un « seuil » morphologique, au niveau duquel l'hydrodynamisme est plus intense.

Par ailleurs, un levé a été réalisé en octobre 2006 par l'Ifremer **entre le Cap d'Antifer et la pointe d'Ailly**, à l'aide d'un sonar latéral et d'un sondeur multi-faisceaux. Les moyens mis en œuvre sont identiques à ceux utilisés pour le suivi du site de Penly ; l'échelle de restitution est également identique (1/10 000)

Le levé sonar d'Ifremer couvre la zone côtière du cap d'Antifer au cap d'Ailly, entre 5/10 et 15/20m de profondeur. Il se compose de 6 profils parallèles à la côte (7 à l'Est de Fécamp), d'une longueur de 70 km, soit un kilométrage total de 420 km environ. Chaque profil couvrant chacun une bande de 200m de largeur, la superficie couverte est de l'ordre de 80 km<sup>2</sup>.

Un nombre limité d'échantillons de sédiment (9) ont été récoltés à l'aide d'une benne Van Veen. Ils sont destinés à calibrer les faciès acoustiques identifiés, et ont fait l'objet de photographies à bord et d'une analyse granulométrique ultérieure.

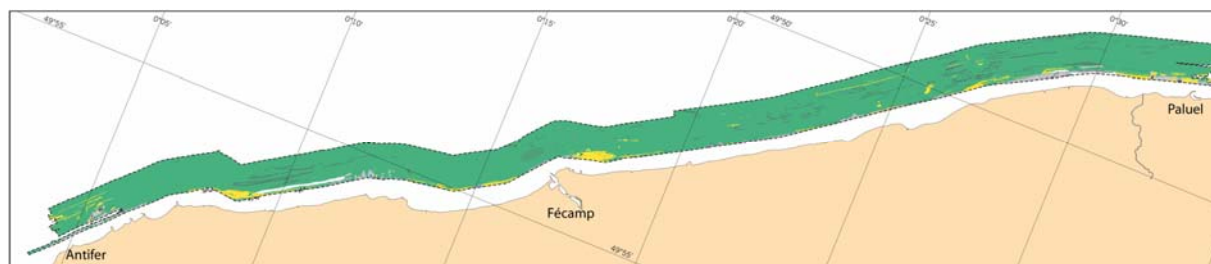
Ce levé fournit des indications sur les fonds en amont du Cap d'Ailly et du site de Penly, dans un vaste secteur identifié dans le cadre de la synthèse « Evolution morpho-sédimentaire du domaine littoral et marin de la Seine-Maritime » (*Augris et al, 2004*), comme dépourvu d'information récente sur la nature et la morphologie des fonds marins. Les cartes de référence de nature des fonds antérieures sont donc celles de Larssonneur et al, 1978, qui indiquent dans le secteur des fonds de cailloutis.

**Résultats** (*Clabaut, 2008, 2010*)

Le secteur côtier d'Antifer à Ailly est considéré comme un secteur exclusivement caillouteux (*Vaslet et al., 1978*). La campagne de cartographie menée en 2006 par l'Ifremer a montré que le sable était effectivement peu présent, localisé essentiellement en aval des caps, même peu marqués, et que l'étendue des surfaces sableuses augmentait régulièrement le long du littoral haut-normand.



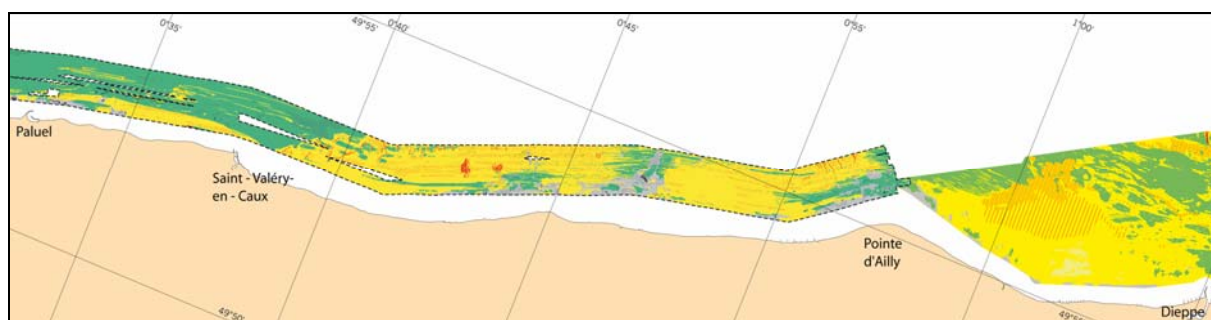
A l'Ouest, la zone d'Antifer à Paluel (*Fig. 4.42*) est largement dominée par les sédiments grossiers. Les quelques accumulations sableuses identifiées sont généralement « plaquées à la côte », et liées à des changements d'orientation de celle-ci, même mineurs.



**Figure 4.42 – Nature des formations superficielles entre Antifer et Paluel**

Le secteur de Paluel à Saint-Valéry-en-Caux (*Fig. 4.43*) est un secteur de transition, avec des fonds à dominante grossière au large et une couverture sableuse discontinue à moins de 10m de profondeur, qui devient continue près de la côte, vers 7 à 8m de profondeur.

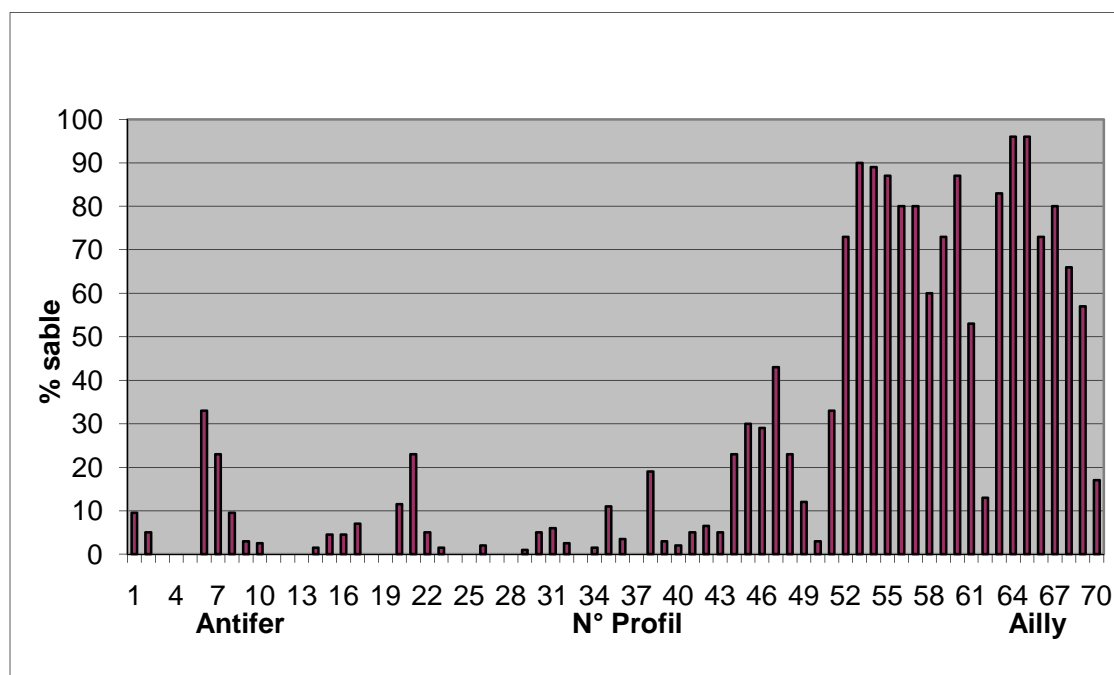
Plus à l'Est, de Saint-Valéry-en-Caux à Ailly (*Fig. 4.43*), l'augmentation des superficies sableuses est nette. La couverture sableuse devient quasiment continue, simplement réduite à des rubans sableux au niveau des affleurements rocheux. Dans les secteurs sableux, la présence de vagues de sable coalescentes traduit une augmentation des volumes sableux.



**Figure 4.43 – Importance de la couverture sableuse entre Paluel et Dieppe, en 2006**

Un gradient transversal de sable se surimpose au gradient longitudinal ; il se traduit par une couverture sableuse plus importante à proximité de la côte qu'un peu plus au large, indépendamment de la quantité de sable présente localement.

L'importance des surfaces sableuses, le plus souvent étirées parallèlement à la côte, dans le sens des courants de marée, par rapport aux surfaces couvertes par le levé, est estimée selon une série de profils transverses à la côte, régulièrement espacés de 1km. La figure 44 montre le résultat de cette évaluation et met en évidence une tendance nette à l'augmentation des volumes sableux déposés sur le fond, de l'WSW (profil 1 – Antifer) vers l'ENE (profil 70 – Ailly).



**Figure 4.44 - Importance de la couverture sableuse dans les petits fonds marins, entre Antifer et Ailly (Levé Ifremer de 2006)**

Les levés réalisés montrent une zonation d'ensemble caractérisée par des fonds grossiers à l'Ouest avec une couverture sableuse très diffuse et plaquée à la côte, une zone de transition, avec une couverture sableuse peu abondante et mal classée, devenant plus continue vers l'Est.

Au SW de la zone, on observe donc un gradient sableux du SW vers le NE, marqué par une augmentation progressive des surfaces sableuses (*Fig. 4.44*) entre Antifer et Saint-Valéry-en-Caux.

Des peuplements denses de crépidules ont été identifiés, notamment aux abords de Fécamp et Saint-Valéry-en-caux.

### **4.6.2 En aval de Criel**

En 2004, une reconnaissance sommaire a été réalisée en marge du levé quadriennal du secteur de Dieppe – Criel sur Mer. Les 2 profils sonar qui la composent, grossièrement parallèles à la côte, entre l'extrémité orientale de la zone de suivi périodique (Criel) et la baie de Somme (jusqu'à la latitude de 59°15'N), ont été réalisés à des profondeurs moyennes de 6 à 8 m pour profil côtier et de 8 à 13m pour le profil plus au large. Ces profils sonar n'ont fait l'objet d'aucune calibration par des prélèvements à la benne.

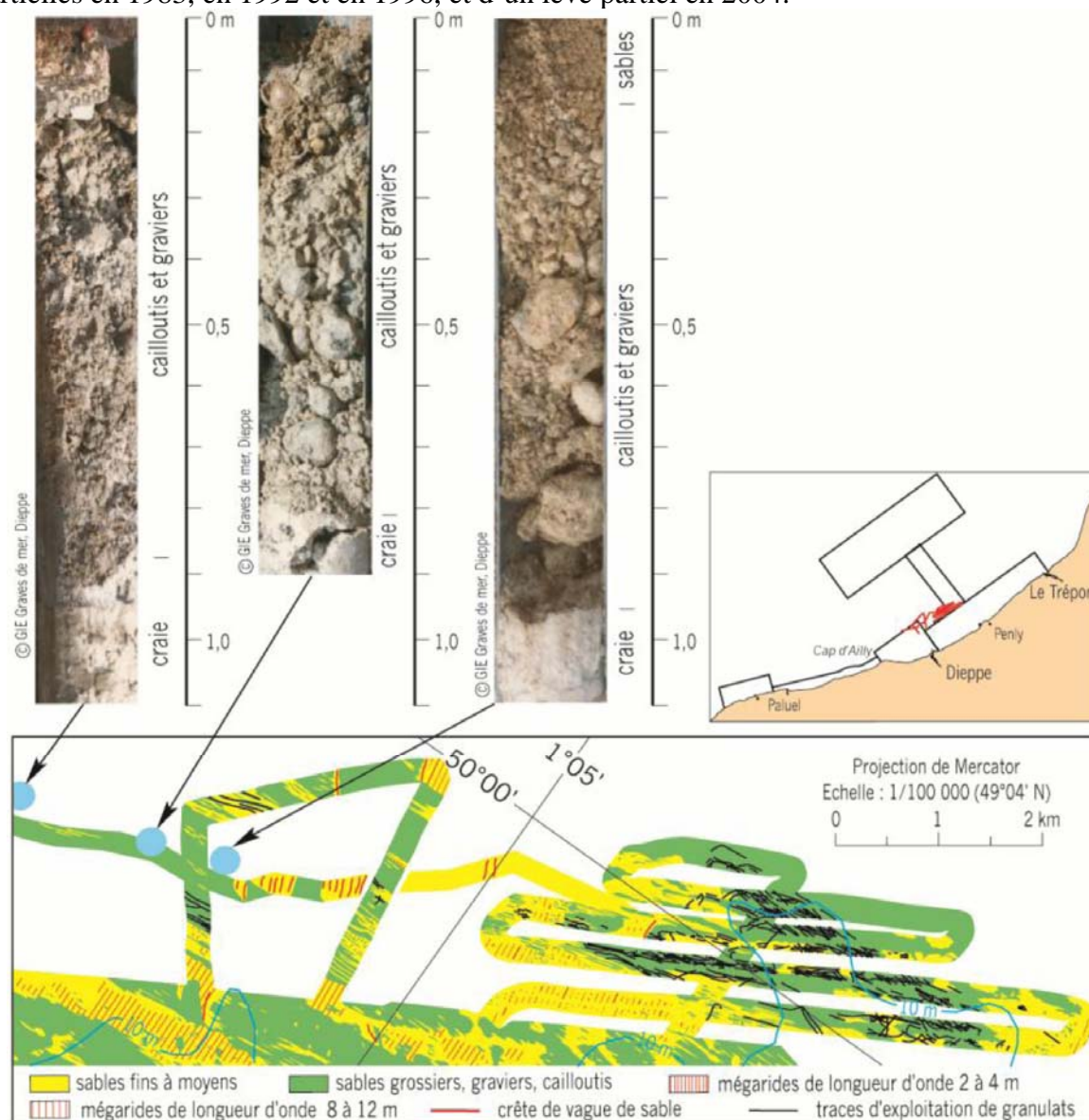
Des abords du Tréport à la Baie de Somme, les fonds sont nettement plus homogènes qu'au droit de Dieppe - Le Tréport, et de nature presque exclusivement sableuse, malgré des reliefs assez notables (banc franc-marqué et petits bancs venant se souder au prisme littoral), délimités sur la carte marine par la courbe des 10 m. L'ensemble des sables est dépourvu de figures sédimentaires de taille observable au sonar.

Ces observations montrent que les fonds de nature variée entre Dieppe et Criel/Le Tréport passent vers l'Est à un vaste domaine sableux continu, et bien développé vers le large (profil le plus au large situé à 6 km environ de la côte)

A l'échelle régionale, ce levé sommaire montre bien que le secteur de Penly est une zone de transition entre la zone à dominante caillouteuse à l'Ouest et la zone Le Tréport Baie de Somme, exclusivement sableuse.

### 4.6.3 Site au Nord immédiat de Dieppe-Le Tréport

Ce site est le siège d'une exploitation de granulats. Il s'étend sur une longueur de 10 km environ et une largeur maximale de 3 km (Fig 4.45). Il a fait l'objet de 3 reconnaissances partielles en 1983, en 1992 et en 1996, et d'un levé partiel en 2004.



**Fig.4.45 - Formations superficielles dans le secteur du site d'extraction de granulats au Nord de Dieppe (campagnes Ifremer 1983, 1992, 1996)**

La partie ouest, levée en 1983 et 1992, montre des fonds grossiers prédominants. La couverture sableuse consiste principalement en quelques vagues de sable isolées : quatre vagues isolées repérées en 1992 ; ailleurs, deux champs de 8 structures identifiés en 1983. Des rubans sableux, parfois modelés par des mégarides, sont également observés. La partie est, cartographiée de manière plus continue, en 1996, comporte un secteur « central » de 4 km de long sur 1,2 km de largeur maximale, caractérisé par des fonds de nature grossière, accidentés de traces d'extraction, en forte densité.

Dans ce secteur, la couverture sableuse est réduite, limitée à des placages sableux peu épais, dépourvus de mégarides.

En périphérie de ce secteur d'exploitation, la couverture sableuse est plus développée, au-dessus des sédiments grossiers ; elle se compose généralement de vastes étendues sableuses, souvent façonnées de mégarides de courant. Une seule vague de sable est identifiée. Au Nord, les fonds présentent un faciès acoustique hétérogène, analogue à celui identifié en 1996 et 2000 en différents points de la zone commune.

Sur l'ensemble du site, les figures sédimentaires (rubans sableux et vagues de sable) indiquent une orientation du transit sédimentaire résultant vers l'Est-Nord-Est, conforme à celui de la zone commune.

En 2004, on a pu observer sur le site d'extraction du nord de Dieppe des **traces d'extraction de granulats** récentes (drague « Charlemagne » sur zone), ainsi que des **traces de clapage** de sédiments du chenal de Penly (drague « Loctudy » également sur zone), sur le site de rejet de Dieppe.

#### **4.6.4 Site à 12 milles au large**

Le secteur cartographié (*Fig. 4.40*) se situe au large de la centrale EDF de Penly, de part et d'autre de la limite réglementaire des 12 milles nautiques (22,2 km), plus précisément entre 10,5 et 14,2 milles de la côte. Sa superficie est de 120 km<sup>2</sup> environ.

#### **Morphologie d'ensemble**

Les fonds de ce secteur se distinguent par la présence de « dômes » et de chenaux d'orientation Ouest-Sud-Ouest - Est-Nord-Est (*Fig.4.46*).

Deux « dômes », l'un situé dans la partie axiale du secteur cartographié (à 12 milles de la côte), l'autre plus au Sud (9,5 milles de la côte), se caractérisent par une hauteur maximale de 10 m ; la base est située vers 25 m de profondeur, le sommet culmine vers 16 mètres.

Les chenaux situés de part et d'autre du dôme « axial » sont en partie occupés par plusieurs dizaines de vagues de sable de hauteur maximale 8 à 11 m à l'extrémité Sud-Ouest, décroissant de 2 à 6 m vers le Nord-Est (*Fig.47*).

Les vagues de sable, d'orientation moyenne Nord-Sud à Nord-Nord-Ouest - Sud-Sud-Est, et à crête simple, sont accolées en « champs », d'une longueur de 10 km, composés de plusieurs dizaines de structures.

L'ensemble de ces structures indique des volumes sédimentaires bien plus importants que près de la côte.

#### **Nature des fonds**

Les sonogrammes obtenus montrent deux faciès bien contrastés (*Fig. 4.47*) :

- un faciès clair, correspondant à des sables moyens à grossiers ;
- un faciès sombre, correspondant à des sables grossiers graveleux.

Les sables moyens à grossiers occupent 60 % de la zone. Ils composent de grands secteurs continus, de longueur pouvant atteindre 6 km, ou des secteurs de plus petite taille, qui se relaient de manière complexe.

Les sables grossiers graveleux affleurent sur environ 40 % de la zone ; ils sont totalement dépourvus de figures sédimentaires de longueur d'onde supérieure à 1 mètre.

Les échantillons prélevés dans les sables façonnés de mégarides ont une médiane comprise entre 0,75 et 1,3 mm, et un indice de classement compris entre 1,5 et 2. Leur spécificité semble être la prédominance des sables grossiers (entre 50 et 70 %) par rapport aux autres fractions, de teneur toujours inférieure à 35 %.

Les échantillons prélevés dans des sables dépourvus de mégarides ont une médiane comprise entre 0,9 et 1,5 mm, un classement compris entre 2,4 et 2,9. Ils se caractérisent également par des teneurs équivalentes en sables moyens, sables grossiers, graviers (28 à 35 % de chaque fraction).

Il semble donc que le caractère déterminant la présence de mégarides au large soit la prédominance nette d'une fraction par rapport aux autres. Les mégarides se forment dans des sables moyens près de la côte alors qu'elles se forment dans des sables grossiers ici au large.

Les constituants des fonds de ce site diffèrent nettement de ceux situés près de la côte par l'absence de roche affleurante ou même sub-affleurante, de même que par l'absence de particules fines et la faible présence de sables fins (moins de 4 %).

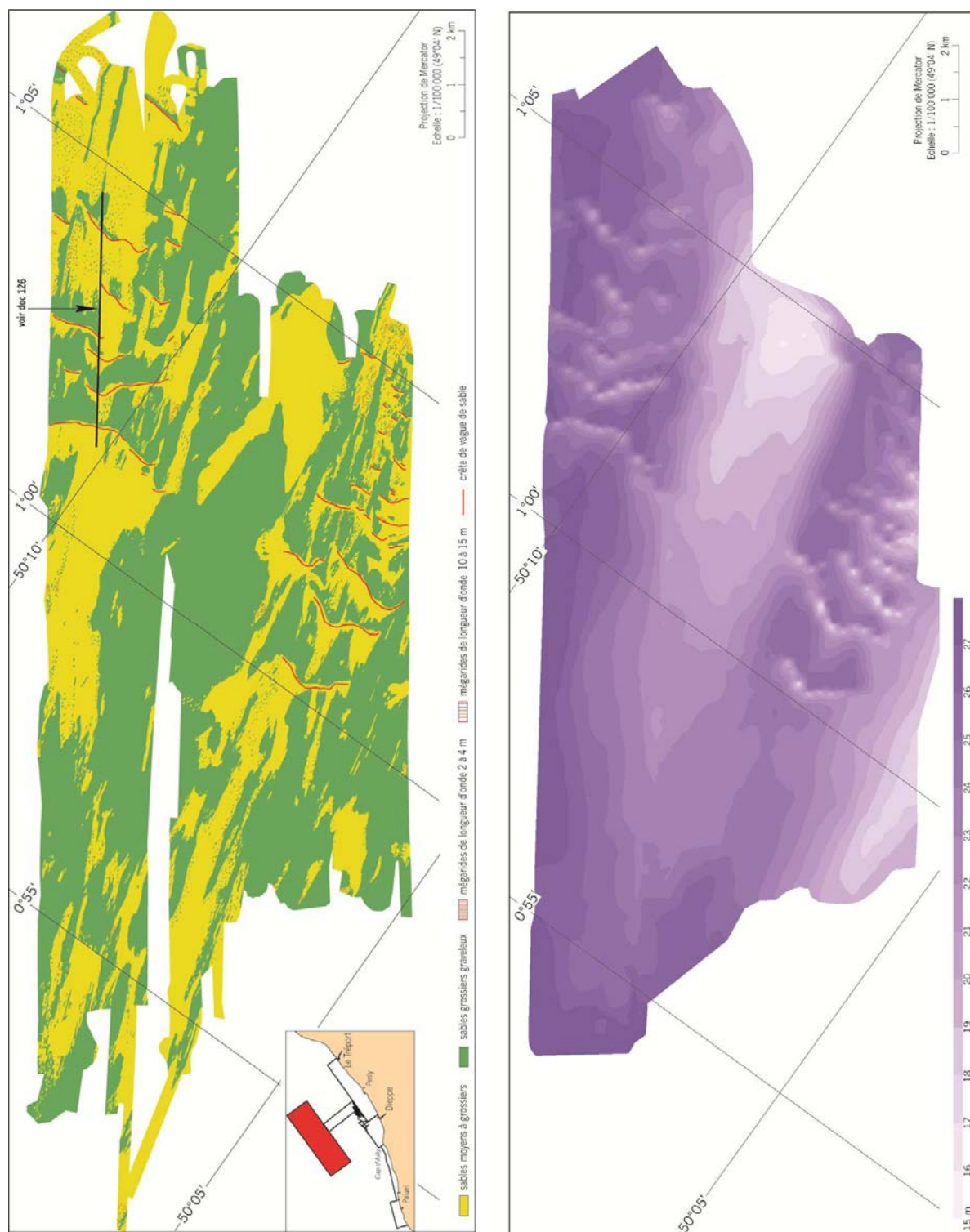
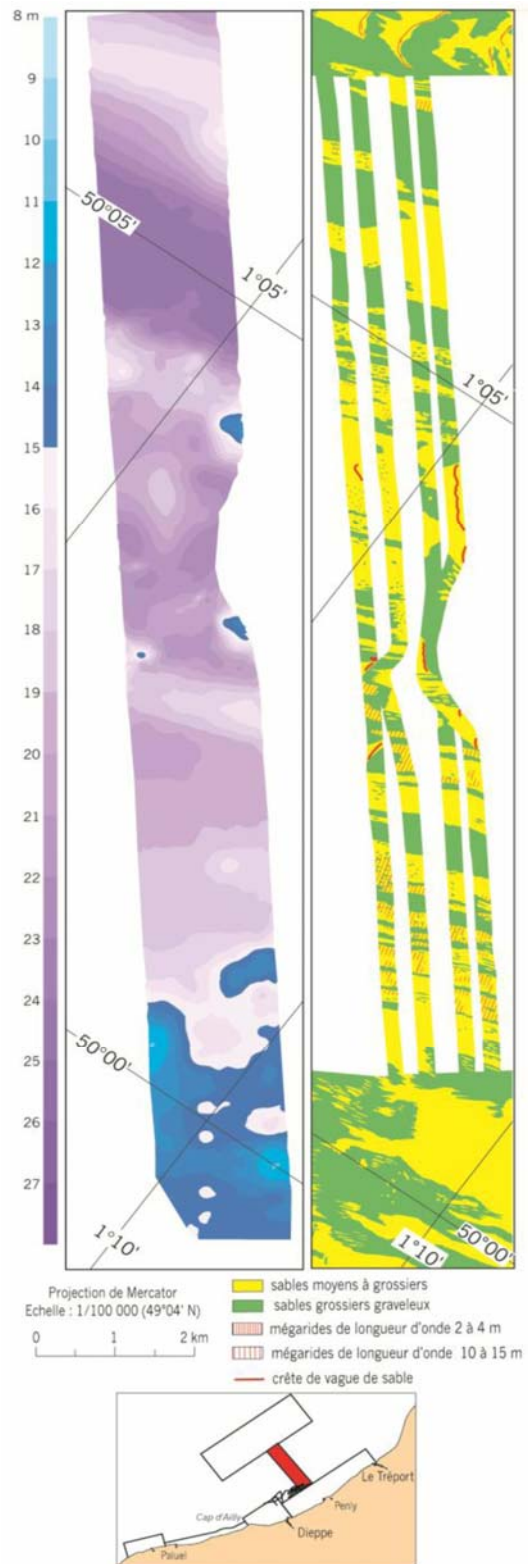


Fig.4.46 et 4.47 – Morpho-bathymétrie et nature des formations superficielles du secteur du large de Penly (Drévès et al, 1995b)

Bien qu'assez espacés (300 à 500 m) et non calibrés par des prélèvements de sédiment, les 4 profils transverses réalisés au droit de la centrale EDF de Penly, depuis la côte jusqu'à la zone du large (Fig.4.40), fournissent des indications sur la morphologie et la répartition des formations superficielles (Fig.4.48) ; Un « dôme » analogue à celui existant sur le site du large, dont le sommet se situe à 16 m de profondeur, s'observe à 9,5 milles de la côte. Un ensemble de vagues de sable, voisin des ridins de Dieppe, se rencontre à 6,5 milles (12 km) de la côte. Ces vagues de sable ont une crête longue (jusqu'à près de 1,5 km). Entre les ridins de Dieppe et cet ensemble côtier, on observe essentiellement des rubans sableux sur un substrat plus grossier.



**Fig.4.48 – Morpho-bathymétrie et répartition des formations superficielles entre le site du large et la côte (Drèves et al, 2005 b)**

## 4.7 Interprétation des évolutions constatées

### 4.7.1 Évolution littorale

Le long du littoral, trois grands aménagements sont implantés : le port de Dieppe, la centrale EDF de Penly et le port du Tréport. Ces ouvrages ont un effet important sur la dynamique sédimentaire (Fig.4.49) :

- ils piègent les vases apportées en suspension à l'intérieur des bassins ;
- ils bloquent le cheminement vers le Nord-Est des galets en haut d'estran ;
- ils affectent la dynamique des sables par piégeage à l'Ouest des digues occidentales, voire également à l'Est de leur extrémité, lorsque ces sables débordent.

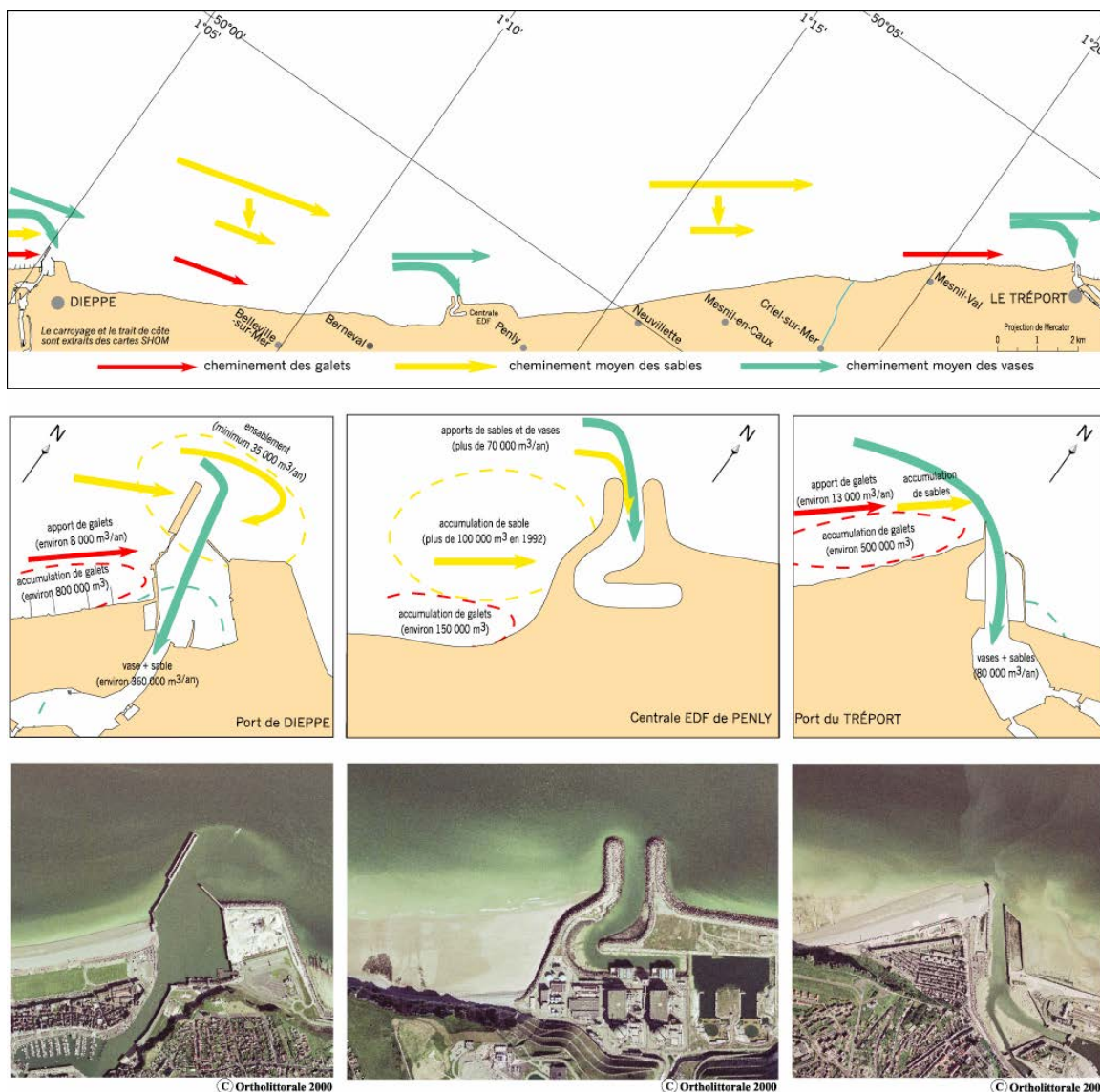


Figure 4.49 - Évolutions sédimentaires liées aux ouvrages (Augris et al., 2004)



## 4.7.2 Évolution de la plage de Penly :

### 4.7.2.1 Évolution morphologique

À 10 km au Nord-Est de Dieppe, entre les valleuses de Berneval et de Penly, s'est développée une accumulation sableuse qui constitue, avec celles de Pourville-sur-Mer, de Quiberville/Sainte-Marguerite-sur-Mer, de Saint-Aubin-sur-Mer et de Veules-les-Roses, l'une des plages de sable les plus importantes du littoral de Seine-Maritime. Cette sédimentation récente et locale apparaît bien singulière dans le paysage littoral par sa situation sur un platier rocheux, sa pérennité et son volume (Fig. 4.50 et 4.51).

Avant la construction des jetées du chenal de la centrale EDF de Penly en 1981, le bas estran rocheux de la zone Berneval-Penly était connu pour ses moulières naturelles, suggérant l'absence de couverture sédimentaire. La fraction sableuse était notamment présente ponctuellement.

Entre 1981 et 1993, sur une superficie d'environ 0,75 km<sup>2</sup>, près de 300 000 m<sup>3</sup> de sable se sont accumulés contre la jetée ouest de la centrale, soit un apport moyen annuel de 25 000 m<sup>3</sup>.



Figure 4.50 - Accumulation de sable contre la jetée ouest de la centrale EDF de Penly (Costa, 1997)

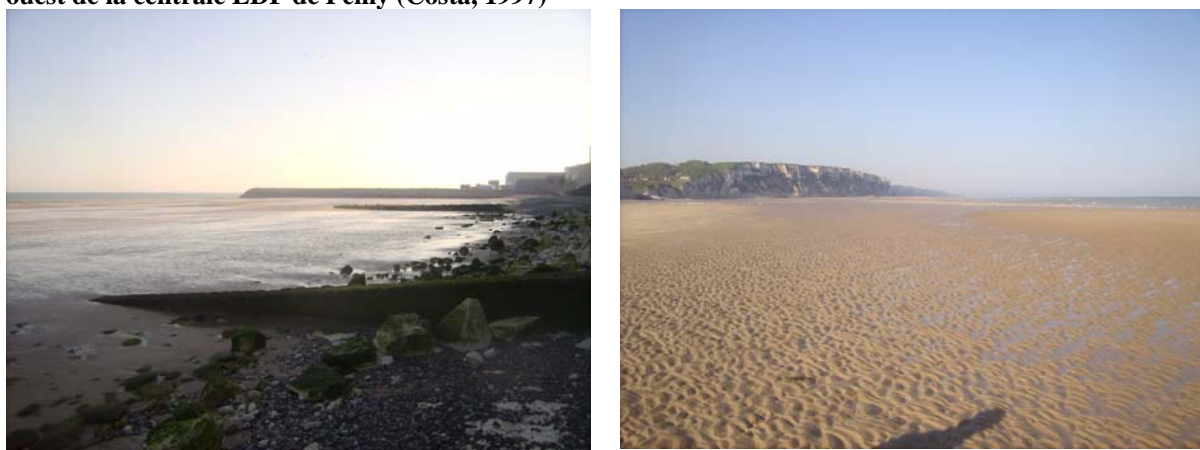


Figure 4.51- La plage Saint-Martin en 2008 (clichés Ph. Clabaut)

Cette sédimentation massive et ponctuelle peut s'expliquer par divers facteurs qui se combinent (*Costa, 1997*) :

- la morphologie de la côte entre Berneval et Penly. La confluence de trois valleuses confère au trait de côte une forme que l'on peut qualifier de « fond de baie ».
- la construction d'une jetée au Nord de cette zone de moindre énergie. L'ouvrage s'avance en mer sur près de 500 m, constituant un obstacle pour le transit d'estran et accentuant la superficie de la zone d'abri ;
- la formation d'un courant de retour (vortex) à l'Ouest du chenal, lors du jusant, et/ou avec des houles de secteur Nord, ce qui accentue la sédimentation.

Si cette jetée constitue l'une des causes essentielles de cet engraissement rapide, il est difficile d'admettre que la seule accumulation des petits placages sableux puisse rendre compte de l'ampleur des volumes impliqués sur cette plage. Ces derniers sont d'ailleurs très supérieurs à ceux connus sur la face ouest d'autres ouvrages portuaires transversaux du département, comme les jetées du port de Dieppe ou de Fécamp, construites du milieu du XIX<sup>e</sup> siècle au début du XX<sup>e</sup> siècle.

L'origine de la fraction sableuse concernée ne peut être fluviale (*Avoine, 1986*) car la charge solide actuelle amenée à la côte par les cours d'eau est constituée majoritairement de fines. Elle ne semble pas être liée non plus à l'érosion continentale des falaises, en raison de très faible présence de matériaux sableux composant les abrupts.

Une autre source de sable est donc mise en jeu et l'accumulation locale de sédiment peut être, en partie, la marque d'échanges sableux entre le large et la côte (*Costa, 1997*).

Les formes d'accumulation sableuse se trouvant au large de la zone Dieppe-Penly ne sont pas strictement parallèles à la côte mais ont une légère obliquité de 15°. Ce phénomène, interprété comme le résultat de la déviation locale des courants de marée par le cap d'Ailly, indique que le sens de propagation des volumes sableux s'effectue vers la côte à ce niveau. Toutefois, en raison de la décroissance rapide des courants de marée, et donc de leur compétence à l'approche des très petits fonds, ces derniers ne sont pas capables de déplacer, seuls, les sables vers l'estran. Ils sont relayés spatialement et temporellement par l'action des vagues, notamment celles de tempête, dont l'efficacité est importante lors des basses mers de vive-eau (*Costa, 1997*).

Par ailleurs, la disparition rapide des abrupts terminaux de bas de platier indique que les vitesses d'accumulation des sables sur la plage ouest de Penly ont été particulièrement importantes en 1991-1992 (années sans fort coup de vent), menant à un bilan sédimentaire sableux brutalement et massivement excédentaire (*Costa, 1997*).

Avant 1992, seules les houles de tempête de février 1990, qui ont agi lors de basses mers de vive-eau, ont été capables de mettre en mouvement une partie de la fraction sableuse vers la côte. Le décalage temporel entre les apports sableux massifs et soudains de l'espace intertidal (1991-1992) et les agents responsables, a priori, du transport des sédiments (1990), suggère que le système hydro-sédimentaire étudié fonctionne selon des relais de processus variables dans le temps et l'espace. Ainsi, les courants de marée, déviés localement par le cap d'Ailly, favorisent continuellement le rapprochement des formes d'accumulations sableuses sous-marines de la côte, qui sont reprises et entraînées épisodiquement dans les très petits fonds par les fortes houles de tempête agissant à basse mer. Ce n'est que sous l'action des houles de tempête plus fréquentes, et peut-être certaines houles de beau temps, que les sables seront acheminés sur l'estran. La dérive littorale quotidienne se chargera de les disperser.

L'extension des faciès sableux enregistrée au large ne peut que favoriser l'arrivée de sables à la côte.

À l'échelle du littoral de la Seine-Maritime, ce type d'accumulation sableuse ne s'observe qu'entre Saint-Valéry-en-Caux et Le Tréport. Les causes de cette répartition peuvent résulter des caractéristiques du platier rocheux de ce secteur qui, en pente plus douce, permet une action des houles sur le fond relativement loin au large, mais également des courants de marée qui y sont plus faibles, induisant la présence de sables pouvant être repris par les houles de tempête. Cette situation facilite la formation de structures sableuses superficielles, proches du trait de côte, directement mobilisables.

#### 4.7.2.2 Évolution sédimentaire

Un profil de prélèvement a été réalisé sur la plage de Penly, le samedi 3 juillet 2004, situé face à la valleeuse de Berneval. Les trois échantillons prélevés se situent immédiatement au-delà du cordon de galets qui borde la falaise (largeur du cordon 38m - échantillon PP1 - Fig. 52), à mi-estran sableux (échantillon PP2, à 150m du pied de falaise), et au pied de l'estran sableux (échantillon PP3, à 300m du pied de falaise).

L'analyse de ces échantillons (Fig. 4.52) montre que les sédiments de la plage de Penly sont des sables fins à moyens, propres, de teinte grise, de taille décroissante du haut (ech. PP1) vers le bas de plage (ech. PP3). Les teneurs en sable moyen décroissent du haut vers le bas de la plage, parallèlement à une augmentation des teneurs en sables fins.

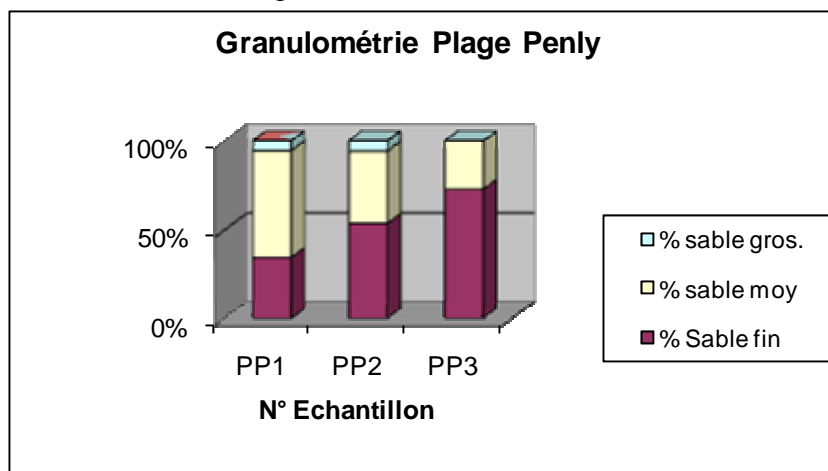


Figure 4.52 – Granulométrie des échantillons prélevés sur la plage de Penly en Juillet 2004

Ceci montre la continuité sédimentaire entre la plage de Penly et les petits fonds marins, qui va de pair avec l'absence d'abrupt rocheux. En effet, si celui-ci était bien marqué, il provoquerait une rupture sédimentaire entre l'estran et les petits fonds. Or, les images sonar recueillies à l'Ouest de la centrale montrent un abrupt en partie masqué par les sables, qui « débordent » sur l'estran.

Dans la partie inférieure de la plage, on peut observer localement la dalle crayeuse, perforée par de nombreuses pholades.

Les tailles de sédiment et le gradient transversal observés sont analogues à ceux décrits lors des études d'avant-projet de 1976, antérieurs à la construction de la centrale. Si le volume de la plage s'est bien accru, les sédiments et son organisation sont restés les mêmes.

La comparaison des deux séries d'échantillons nous montre :

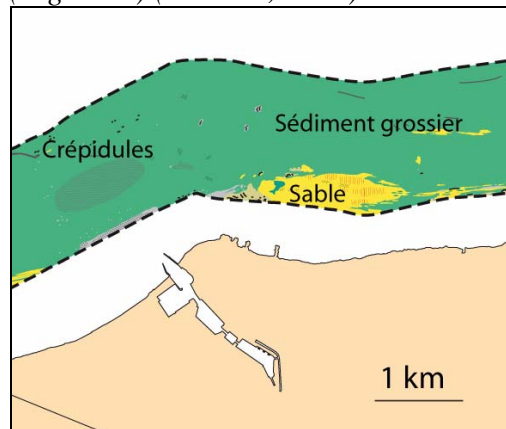
- que les sables, voire les vases, étaient présents sur les estrans des abords de Penly avant la construction de la centrale (de même que les Lanice),
- que le gradient granulométrique observé était analogue au gradient actuel.
- que les volumes sableux étaient peu importants et assez peu épais, et probablement mobiles, et laissaient place localement à la dalle calcaire,

La construction de la centrale a eu pour effet, outre l'impact mécanique lié à la construction du terre-plein et des ouvrages extérieurs, de bloquer les transferts sableux d'estran. De ce fait, les sédiments (galets et sable) se sont accumulés en amont de l'ouvrage, provoquant le développement d'un important cordon de galets en pied de falaise, et l'extension de la plage sableuse.

### **4.7.3 Mécanismes d'évolution des fonds marins entre Dieppe et Le Tréport**

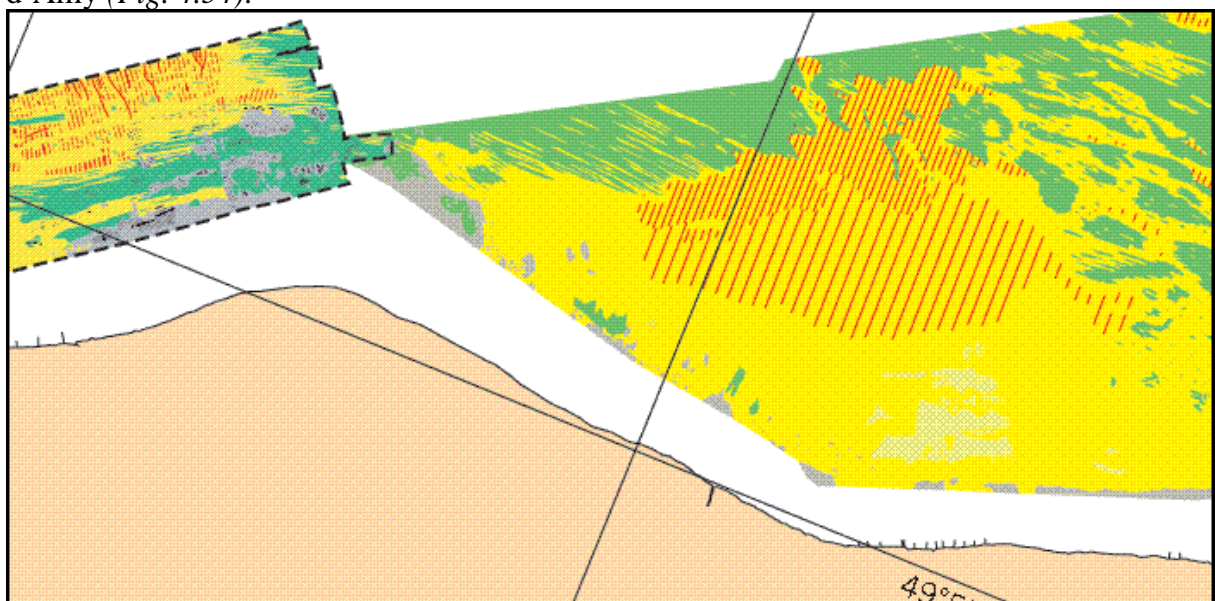
#### **4.7.3.1 Influence de la morphologie côtière**

Sur ce littoral pratiquement rectiligne, la moindre incurvation, même mineure, de la côte est favorable au dépôt de sable. Des accumulations sableuses d'ampleur variable s'édifient en aval des caps par rapport au courant dominant. C'est le cas notamment au niveau du Cap Fagnet, à l'Est de Fécamp (Fig. 4.53) (Clabaut, 2008).



**Figure 4.53 - Accumulation sableuse en aval du Cap Fagnet (Fécamp)**

Ce type d'accumulation sableuse se trouve de manière analogue, et avec un développement plus important, probablement lié à un volume sableux mobilisable supérieur, à l'Est du Cap d'Ailly (Fig. 4.54).

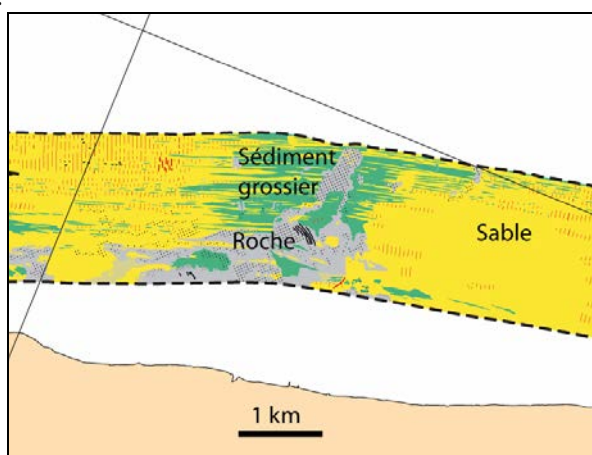


**Figure 4.54 - Accumulation sableuse en aval du Cap d'Ailly (Pourville)**

#### 4.7.3.2 Influence de la morphologie marine (Clabaut, 2010)

Bien que la nature crayeuse du substrat limite l'amplitude des reliefs rocheux, les « seuils », légers ressauts du substrat, qui exposent le fond à l'action renforcée des facteurs hydrodynamiques (Ex : seuils d'Etretat, de Paluel, de Dieppe), interrompent la couverture sableuse (Fig. 4.55). C'est ce type de seuil qui est à l'origine du contraste entre le « compartiment occidental » (Platier de Dieppe) et le « compartiment oriental », plus sableux.

Le « platier de Dieppe » correspond à un affleurement rocheux d'âge Turonien, plus riche en silex que les substrats sénoniens voisins, qui de ce fait s'inscrit en relief, d'une hauteur d'environ 2 m.



**Fig. 4.55 - Interruption locale de la couverture sableuse liée à un ressaut rocheux, à l'Ouest du Cap d'Ailly**

A l'inverse, un léger retrait de la côte ou un fond marin légèrement déprimé favorisent une sédimentation sableuse ou sablo-vaseuse. C'est le cas notamment aux abords de Penly, et surtout en Baie de Somme.

A une échelle plus réduite, une légère dépression sur le platier de Dieppe semble être à l'origine de la présence de sédiments fins, et de la colonisation par les crépidules.

#### 4.7.3.3 Causes de la nature essentiellement rocheuse de l'estran (Augris et al, 2004)

La remontée de sédiments sur l'estran est localement contrariée par la présence de l'abrupt décrit plus haut. La pente du substratum rocheux y est bien plus forte que la pente d'équilibre des fonds sédimentaires.

En présence d'abrupt, la remontée sur l'estran ne peut se faire qu'en suspension. Seule la partie supérieure de la colonne d'eau transite, la partie inférieure restant bloquée tout comme la couche de charriage. Cette situation se produit seulement par fortes houles, à basse mer, car la hauteur d'eau en pied d'abrupt est notable, souvent de l'ordre de 2 à 3 mètres, voire un peu plus.

La remontée sur l'estran n'a lieu pleinement qu'aux endroits où l'abrupt est inexistant, comme au débouché de vallées ou de certaines valleuses, voire par l'intermédiaire des rigoles creusées naturellement dans le sens de la pente (carniaux) de l'estran, lorsqu'elles sont suffisamment profondes.

Ceci explique la nature essentiellement rocheuse de l'estran (platier). En effet, le peu de sédiments qui arrive sur le platier est balayé par les courants et surtout la houle, orientés conjointement vers l'Est.

Il s'agit là d'un transport fortement non saturé, avec une capacité de transport bien plus élevée qu'au bas de l'abrupt où l'action de la houle est limitée par la profondeur. Cette faible quantité de sable ne peut demeurer sur l'estran que lorsqu'elle est piégée en amont-dérive des digues comme celles de la centrale de Penly, du port de Dieppe, ou dans la porosité des galets constituant le cordon ou le stock mort à l'Ouest des ports, ou encore dans les dépressions du platier situées au débouché des vallées.

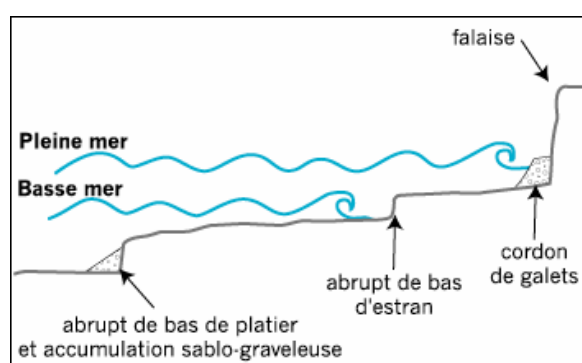
L'accumulation des sédiments sableux sur ces ouvrages peut devenir telle que le sable déborde et contourne l'obstacle, formant une flèche sédimentaire en aval-dérive de celui-ci (Dieppe et Le Tréport).

Concernant les relations entre cet abrupt et l'accumulation sédimentaire qui s'y appuie, la carte morpho-sédimentaire met en évidence le contraste entre l'Ouest de la centrale de Penly, où le stock sableux est important, jusqu'à déborder parfois sur l'estran, et l'Est de la centrale, où le bord du platier est nettement indenté par les carniaux.

Quant aux éléments les plus grossiers, résultant de l'érosion des falaises, ils sont repoussés vers le haut d'estran ou, plus rarement, entraînés au pied de l'abrupt par les retraits de vagues et les courants de retour de la houle, où ils sont alors piégés, ce qui contribue également à « nettoyer » le platier de ses galets.

#### 4.7.4.4 Échanges sédimentaires entre l'estran et le domaine marin (Augris et al, 2004)

La transition entre l'estran et les très petits fonds est bien souvent marquée par un abrupt, parfois deux (Fig. 4.56), ou au moins par de fortes pentes, avec rupture de nature des fonds, la partie située vers le large étant caractérisée par une couverture épaisse de sables fins plus ou moins envasés.



**Figure 4.56 - Profil schématique de l'estran et des petits fonds faisant apparaître les deux abrupts du platier rocheux**

Ces structures, qui viennent s'ajouter à celles connues sur différents estrans de la Seine-Maritime, ont une forte influence sur les échanges sédimentaires entre l'estran et les petits fonds marins.

L'existence des «carniaux» sur l'estran, de forme évasée vers le large, semble favorable à l'évacuation des sédiments en transit sur l'estran ou accumulés dans le cordon de galets,

vers les très petits fonds. Leur effet sur le cordon de galets de haut de plage semble cependant très ponctuel.

La composition même de cette accumulation sédimentaire, marquée par la présence conjointe de sédiments fins (sables) et grossiers (cailloutis, coquilles) traduit une alimentation d'origine complexe.

L'abrupt crayeux pourrait avoir plusieurs rôles : obstacle aux échanges sédimentaires du domaine marin vers la plage (échanges qui sont déjà limités par les discontinuités et la faible épaisseur de la couverture de sédiments sableux), « piège » pour les sédiments grossiers lessivés depuis l'estran, notamment par le retrait de vague et les courants de retour liés au déferlement de la houle.

L'obstacle lié à l'abrupt provoque, sous l'action de la houle, une accumulation de sédiments en provenance du large, ou de l'estran et ne pouvant y remonter ; ces sédiments sont peu à peu emportés vers l'Est sous l'action des courants et de la houle. Il se crée alors un équilibre dynamique.

À mesure que les sédiments s'accumulent contre l'abrupt, les fonds s'exhaussent. L'action de la houle s'accroît et favorise alors, d'une part, le transport vers l'Est sous l'action des courants et, d'autre part, le franchissement de l'abrupt par les sédiments en suspension.

Ce processus de blocage et d'accumulation des sédiments entraîne ici une pente des fonds plus forte que plus au large. En effet, l'épaisseur de sédiments permet à la houle d'y imposer sa pente, d'autant plus que la faible profondeur renforce l'action de cette houle sur le fond, alors qu'au large la pente est imposée par celle du substrat dur.

La zone d'influence importante de la houle est bien marquée par l'existence de cette pente sédimentaire. La rupture de pente, plus bas, traduit l'effet de la proximité du substrat.

#### 4.7.3.5 Sables envasés dans les très petits fonds (Augris et al, 2004)

La présence conjointe de sables envasés et de sédiments grossiers sur l'ensemble de la colonne sédimentaire ne correspond pas à la dynamique actuelle des très petits fonds.

Les sables envasés semblent correspondre à une « zone de moindre énergie » ; celle-ci est située à la jonction entre le domaine régi ordinairement, en l'absence de tempêtes, par les courants de marée et celui, plus côtier, régi par les houles. Une telle situation est commune en Manche orientale. Elle a été initialement décrite par Larsonneur (1971), puis largement confirmée par la suite, notamment le long du littoral picard (bande de sables fins sur la carte sédimentaire de Augris et al., 1987). Sur de tels fonds, les figures sédimentaires ne peuvent se former en raison de la finesse des sédiments, voire de leur caractère cohésif et/ou de leur hétérogénéité. Ces sédiments fins ne peuvent se maintenir que dans les secteurs à faible hydrodynamisme ou lorsque des organismes benthiques viennent favoriser leur dépôt et leur fixation.

Les sédiments grossiers associés semblent quant à eux plus anciens et pourraient correspondre à un ancien cordon littoral, édifié au pied de l'important abrupt crayeux de 5 m de hauteur observé localement au droit de Penly ; ce cordon semble avoir été bloqué par l'abrupt, lui interdisant toute possibilité de migration, parallèlement au recul de la falaise.

Une autre source de sédiments grossiers, plus récente, entre également dans ce mélange : il s'agit d'éléments qui sont tombés du platier et ont été alors piégés par cet abrupt crayeux.

Les caractéristiques sédimentologiques des sédiments des très petits fonds sont elles-mêmes variables au cours du temps.

Cependant, la stabilité apparente des taches envasées, dont les limites, aux formes complexes, n'ont que très peu varié de 1988 à 2000, est une caractéristique de la zone.

Cette stabilité relative peut s'expliquer par l'épaisseur de cette couche de sédiments sablo-vaseux, comprise entre 0,5 et 2,7 m d'après les carottages réalisés à proximité de la centrale de Penly.

Elle s'explique également par l'association fréquente de sédiments grossiers (sables grossiers à cailloutis de silex) aux sédiments fins, que ce soit dans les échantillons de surface, prélevés lors des quatre missions Ifremer, ou dans les carottages réalisés en 1981 par Doris. Ces sédiments grossiers ont un rôle « d'ancrage ». Ils stabilisent l'ensemble du sédiment et limitent la mobilité des particules.

Les amas caillouteux observés le long du compartiment oriental, entre 6 et 11m de profondeur, pourraient correspondre à un ancien cordon de galets. Celui-ci est continu et adossé au platier d'estran au niveau des « roches du Muron », entre Neuville et Mesnil-en-Caux ; par contre, de part et d'autre de la centrale de Penly, il est discontinu, constitué d'amas dissociés les uns des autres, et également isolé de l'abrupt rocheux de pied d'estran (en raison d'un recul plus rapide de celui-ci ?).

Ces amas dont la stabilité au cours des vingt dernières années au moins est une caractéristique du site, constituent des zones en relief, susceptibles de capter les particules fines en suspension, ainsi que les larves, lorsque les conditions le permettent et ainsi de fixer temporairement une couverture sablo-vaseuse.

Par contre, on observe une variation des teneurs en particules fines des sédiments qui n'est pas connue en détail. Toutefois, on peut penser que les facteurs naturels, notamment météoro-océaniques, jouent un rôle important. En particulier, les conditions d'environnement (houle, charge en matières en suspension) précédant à court terme (quelques jours) l'observation sont des éléments décisifs quant aux caractéristiques des envasements de surface.

La diminution des vers tubicoles et des teneurs en particules fines, entre 1988 et 1992, peut être due aux houles des tempêtes de 1990, qui auraient modifié les fonds côtiers. À ce facteur général, s'ajoutent des facteurs locaux. La configuration des fonds devant la centrale EDF favorise le dépôt des particules fines par décantation, sous l'effet notamment d'une atténuation sensible de la houle à basse mer. Par ailleurs, au Nord de Dieppe, l'orientation des courants de marée et le transit résultant sur le fond matérialisé par les rubans sont dirigés vers Penly ; ils peuvent y apporter des particules fines déversées sur le site de clapage.

Le fait d'observer en 1996, sur deux échantillons, un envasement plus marqué dans la partie superficielle peut s'expliquer par un apport de sédiments fins (sables et vases) au-dessus des sédiments hétérogènes sous-jacents. Combiné au fait que ces sables envasés sont légèrement mieux classés, cela traduirait un hydrodynamisme atténué permettant le dépôt de ces sédiments.

Les éléments vaseux, issus à la fois des apports continentaux (Seine, notamment) et de l'érosion de la falaise (craie), cheminent de façon préférentielle sur une bande côtière de quelques kilomètres. Lessivés par la houle sur l'estran, les dépôts ne peuvent en fait se concentrer qu'aux endroits du « fleuve côtier » où les actions hydrodynamiques sont limitées : abris portuaires et très petits fonds. Dans ces derniers, les courants sont malgré tout trop importants (plus de 0,5 m/s), contrairement aux bassins portuaires, pour que puisse s'y observer une couche de vase pure. Mais l'imbrication et l'infiltration de ces vases dans les sédiments moins fins et hétérogènes limitent les possibilités de leur érosion au moment du maximum de flot. En particulier, l'état de surface des fonds, très lisse, doit notamment réduire la contrainte exercée par les courants et la houle.



#### 4.7.3.6 Mécanismes d'évolution de la couverture sableuse à court terme

##### 4.7.3.6.1 Mise en évidence des variations à court terme

Les fonds évoluent lentement, en moyenne de l'ordre du mètre en un siècle. De plus, la couverture sableuse est le plus souvent, lorsqu'elle existe, de très faible épaisseur (quelques décimètres). De ce fait, les évolutions significatives à court terme, de l'ordre de quelques années, sont nécessairement liées à la météorologie (hauteur, période et direction des fortes houles, occurrence de tempêtes) ou éventuellement à une modification des conditions/sources d'apport en provenance de l'Ouest.

En outre, la très faible épaisseur de sable implique qu'une légère redistribution de ce sédiment peut entraîner un changement sensible des surfaces concernées par les différents types de nature des fonds, d'autant plus que les faciès hétérogènes ne facilitent pas les distinctions franches entre les zones.

La corrélation avec les conditions météorologiques est constatée localement ou sur certains aspects très spécifiques, notamment :

- la concentration en matières en suspension dans la zone côtière est nettement liée aux conditions de houle mais aussi, localement, aux débouchés des rivières et aux précipitations ;
- la disparition du sable sur la plage de Puys, située immédiatement à l'Est des ouvrages portuaires de Dieppe, en 1983-1984, a pu être expliquée par la fréquence et l'intensité exceptionnelles des vents d'Ouest de l'hiver, responsables d'un départ de sédiments sous l'action des houles (*Dhellemmes, 1985*);
- le taux de sédimentation dans le chenal de prise d'eau de la centrale de Penly est environ 50 % plus fort en hiver qu'en moyenne annuelle, du fait des conditions de houle plus sévères (*Villaret, 1993*).

##### 4.7.3.6.2 Évolution de l'extension de la zone à mégarides (*Augris et al, 2004*)

À une échelle plus globale, comme indiqué dans le chapitre II, la zone couverte par les mégarides est très faible (1 % de la surface cartographiée), et quasiment identique en 1988-1989, 1992, 2000 et 2008, alors qu'elle atteint 20 % de cette surface en 1996. Cette évolution et sa relation avec les caractéristiques de la couche sédimentaire superficielle méritent d'être analysées de façon approfondie. Quelques éléments d'explication sont exposés ci-après.

##### 4.7.3.6.3 Vitesse des courants

Il ne semble pas que les courants de marée soient à eux seuls responsables d'une telle modification. Le levé de 2000 a été réalisé dans des conditions de marée proches de la vive-eau moyenne (coefficients 79 à 96), générant des courants de vitesse maximale estimée à 0,7-0,8 m/s (*LNH-LCHF, 1986*), alors que les mégarides se forment dans des sables moyens (diamètre médian de l'ordre de 0,25 à 0,5 mm) à partir de vitesses comprises entre 0,5 et 0,6 m/s.

#### 4.7.3.6.4 *Volume de sable mobilisable*

Le volume de sédiment mobilisable est, avec la vitesse des courants et la taille des sédiments, l'un des facteurs qui conditionnent la formation des figures sédimentaires (Belderson *et al.*, 1982).

En 1988-1989 et 1992, le stock de sable mobilisable, considéré comme faible, constituait probablement le facteur limitant à la formation des rides.

Le fort développement des mégarides de longueur d'onde supérieure à 10 m, donc de hauteur supérieure à 75 cm, entre 1992 et 1996, pourrait être interprété comme le résultat d'une augmentation du stock sableux. À l'inverse, la diminution de fréquence des mégarides en 2000 pourrait correspondre à un moindre volume de sables moyens mobilisables, malgré une augmentation modérée de la superficie couverte par ces sables.

L'origine de ce stock peut s'interpréter ainsi :

- origine « externe », c'est-à-dire apport de sables moyens de l'amont du transit sédimentaire ;
- origine « interne », c'est-à-dire « migration vers la surface » des sables moyens imbriqués dans les sédiments plus grossiers de la zone;
- -combinaison des deux, assez probable dans la mesure où l'apport extérieur seul n'est pas compatible avec la forte extension des mégarides en 1996.

#### 4.7.3.6.5 *Relation entre hauteur et longueur d'onde des mégarides*

La hauteur (H) et la longueur d'onde (L) des mégarides et vagues de sable, sont liées (Flemming, 1988). Ainsi :

- des rides de 0,6 m de longueur d'onde ont une hauteur de 7,5 cm ;
- des rides de 5 m de longueur d'onde ont une hauteur de 40 cm ;
- des rides de 10 m de longueur d'onde ont une hauteur de 75 cm ;
- des rides de 100 m de longueur d'onde ont une hauteur de 5 mètres.

#### 4.7.3.7 *Classement du sable*

Lors du levé de 1996, où les mégarides sont les plus développées, deux échantillons prélevés dans les sables façonnés de mégarides contiennent un peu plus de 50 % de sables moyens ; leur médiane est de 0,45 mm environ et leur indice de classement est de 1,36 à 1,42. Leur spécificité semble être la prédominance de la fraction granulométrique des sables moyens.

Quant aux trois échantillons prélevés dans des sables dépourvus de mégarides, ils ont un indice de classement un peu plus élevé (1,67 à 1,73), une médiane variable (0,36 à 0,97 mm) et surtout des teneurs élevées en graviers (50 à 80 %) pour deux d'entre eux, ou des teneurs moyennes en grains de différentes classes (sables fins, moyens, grossiers et graviers).

Les deux derniers critères semblent donc de nature à empêcher la formation des mégarides.

À l'inverse, la prédominance des sables moyens semble conditionner la présence de mégarides.

En 1992 et 2000, les mégarides sont quasiment absentes ; aucun sédiment ne comporte plus de 50 % de sables moyens et ceux qui en contiennent 40 à 50 % présentent aussi des teneurs assez élevées dans d'autres fractions granulométriques.

En 1988, neuf échantillons contiennent plus de 50 % de sables moyens, mais on n'observe pas pour autant davantage de mégarides. Par contre, la couverture sableuse est peu développée et discontinue.

À défaut de définir des critères de formation des mégarides, on peut dans un premier temps envisager une série de critères sédimentaires responsables de l'absence de mégarides :

- épaisseur de sédiment insuffisante ;
- sédiment trop fin, donc cohésif comme dans les très petits fonds du compartiment Berneval-Criel ;
- coexistence de différentes classes granulométriques (sables fins, moyens, grossiers et graviers) ou sables moyens et graviers mais, dans ce dernier cas, on en revient à une épaisseur de sable insuffisante au-dessus des graviers.
- Des analyses comparables des sédiments de la zone du large, où la couverture sédimentaire est épaisse, confirment ce résultat.

#### 4.7.3.8 Recherche de corrélation avec la météorologie

Une recherche de corrélation sur les conditions de vent à Dieppe a été menée à partir du bilan des modifications dans la zone commune. Sur la base des chronologies de vent observées à Dieppe de 1985 à 1997, l'énergie annuelle globale des vents de mer (N+250° à N+50°), évaluée par le cumul des carrés des vitesses de vent pondérés par la fréquence d'occurrence, a été estimée. De même, la composante conduisant à une dérive littorale vers le Nord-Est, secteur de provenance (N+250° à N+330°), et celle conduisant à une dérive littorale vers le Sud-Ouest, secteur de provenance (N+330° à N+50°), ont été évaluées.

L'évolution de ces énergies, ainsi que celle du bilan énergétique entre les vents d'Ouest à Nord-Ouest et ceux de Nord à Nord-Est, permettent de dresser le constat suivant :

- l'énergie des vents de mer est très variable d'une année sur l'autre ;
- les périodes 1986 à 1988 et 1990 à 1992 sont sensiblement plus actives qu'en moyenne : près de 30 % d'énergie en plus ;
- les vents conduisant à une dérive littorale vers le Nord-Est l'emportent généralement sur ceux conduisant à une dérive littorale vers le Sud-Ouest, la période 1995 à 1997 se distinguant par une prédominance vers le Nord-Est moins franche, voire inverse en 1995.

#### 4.7.3.9 Énergie des vents de mer à Dieppe : relations avec les transits sédimentaires

Le vent génère la houle et la houle transporte les sédiments. Selon l'orientation de la houle par rapport à une normale au rivage, son action sur le sédiment conduira à faire cheminer celui-ci dans un sens ou dans l'autre le long du littoral.

En l'absence de mesures de houle, notamment directionnelles, il est dès lors pertinent de s'intéresser au facteur générateur, le vent, pour évaluer à la fois l'évolution annuelle du climat de houle, dont dépend la mobilité générale des sédiments, et le poids respectif des deux classes de vent, qui tendent à faire migrer les sédiments le long du littoral dans un sens, et dans l'autre.

En ce qui concerne les événements paroxysmiques, il convient également de signaler les tempêtes d'octobre 1987, de février 1990 et de décembre 1999, qui constituent des

événements majeurs s'étant déroulés assez peu de temps avant les levés cartographiques de l'Ifremer.

Au vu de ces différents éléments, la corrélation entre météorologie et évolution des fonds n'est pas clairement mise en évidence.

La relation la plus marquée s'observe entre l'extension des mégarides dans les sables et l'absence de fortes tempêtes dans les 2 à 3 années précédant le levé.

#### **4.7.3.10 Mécanismes à l'origine de la forte extension des mégarides en 1996**

Il est opportun de déterminer si l'évolution des conditions météorologiques a influé sur l'évolution des caractéristiques morpho-sédimentaires de la zone d'étude. Pour initier l'analyse, il importe, en premier lieu, de qualifier plus précisément cette évolution morpho-sédimentaire. L'extension de la couverture sableuse (1988-1992), puis le développement très important de la surface couverte par les mégarides (1992-1996) correspondent-ils à une forte augmentation du stock sableux par apports depuis l'extérieur du domaine d'étude ou bien ont-ils une autre origine?

##### **4.7.3.10.1 Origine externe**

Plusieurs indices tendent à montrer que la quantité de sables présents dans le domaine d'étude n'a pu s'accroître dans une proportion telle que l'augmentation ait entraîné à elle seule cette modification de modelé.

L'ordre de grandeur du volume des dépôts nécessaires à l'apparition de ces mégarides n'est pas cohérent avec les débits solides d'apports estimés préalablement. Sur les « tubes » de courant les plus concernés par cette apparition, depuis les ridins de Belleville jusqu'à l'Est des roches du Muron, l'extension de la couverture en mégarides a dépassé les 10 kilomètres de long. En outre, il convient de noter que, puisque cette couverture de mégarides s'observe jusqu'à la limite de la zone cartographiée, elle doit probablement se poursuivre au-delà. Pour une hauteur de forme de fond de l'ordre de 50 cm, compatible avec les longueurs d'onde majoritairement observées, l'augmentation du stock sableux dans la zone couverte de mégarides en 1996, à l'intérieur de la zone commune aux 4 levés, serait alors d'environ 2500000 m<sup>3</sup> (approximation par un triangle de la forme des mégarides). Cela correspond à 2 500 m<sup>3</sup>/m de large dans la zone où les mégarides se sont le plus développées (partie nord), soit encore à plus de 500 m<sup>3</sup>/m/an en moyenne entre 1992 et 1996. Ce chiffre est à rapprocher des apports d'Ouest surévalués à 50 m<sup>3</sup>/m/an au large de Belleville en courant seul (surévaluation d'un facteur minimum de 2, liée à l'hypothèse d'une couche sableuse épaisse, ce qui n'est pas conforme à la réalité, à ce niveau). Or, une partie de ces apports se prolonge vers l'Est au-delà du Tréport. En outre, la houle de la période 1992-1996 est assez calme ; par conséquent, son rôle sur l'accroissement du débit sédimentaire est faible.

La dynamique d'apparition des mégarides est trop rapide par rapport à la dynamique de progression d'un ensablement. Un apport sédimentaire fortement renforcé à l'amont d'une zone précédemment sous-alimentée en sédiments fins devrait se traduire par la progression d'un front de sédimentation, à une vitesse comparable à celle de la progression des dunes, soit de l'ordre d'une à quelques dizaines de mètres, au maximum la centaine de mètres, par an. Or, l'apparition de mégarides s'est répandue sur plus de 10 km de long en 4 ans, et même sans doute en moins de temps, cette étendue de quatre ans n'étant liée qu'à l'intervalle de réalisation des levés. De plus, aucun mécanisme de progression Sud-Ouest - Nord-Est n'est apparent. En effet, les levés ne montrent pas d'apparition de mégarides d'abord en partie ouest, avant une extension jusqu'au-delà du Tréport.

Sur cette problématique d'extension de la couverture sableuse, un point mérite d'être signalé : les apports de sable en provenance de l'Ouest ont pu augmenter suite au clapage de grandes quantités de sédiments, près de 30 Mm<sup>3</sup> de sable lors du creusement du port d'Antifer au début des années 1970, dont seuls 6 à 7 Mm<sup>3</sup> étaient encore dans la zone de clapage en 1995, d'après un sondage du Port autonome du Havre (communication orale).

Cet apport artificiel a pu quelque peu contribuer à l'extension de l'ensemble de la couverture sédimentaire de 1988 à 1996. Seule l'analyse minéralogique de sédiments prélevés dans la zone d'étude permettrait de préciser dans quelle proportion. Cette contribution devrait cependant rester assez limitée, compte tenu du piégeage dans les cailloutis tapissant les fonds entre Étretat et Dieppe ainsi que du ratio entre le volume clapé et les superficies en jeu.

Par contre, la relation entre ce clapage massif et l'aggravation récente de l'ensablement des entrées de Dieppe et du Tréport pourrait être davantage concevable. Le fait de ne pas avoir constaté de problèmes d'ensablement sur les ports situés plus à l'Ouest, notamment Fécamp et Saint-Valéry-en-Caux, pourrait provenir soit d'une absence de gêne causée par un tel ensablement (navigation non perturbée), soit de la protection naturelle d'un abrupt de bas estran plus franc et/ou d'un estran plus pentu qu'au niveau de la zone Dieppe-Le Tréport.

#### *4.7.3.10.2 Origine interne*

De 1992 à 1996, il s'agirait plutôt d'une extension que d'une progression de la zone couverte par des mégarides. Les conditions hydrodynamiques requises étant effectivement rencontrées, la genèse de ces mégarides repose sur la nature précise du fond sédimentaire : il faut qu'un certain volume de sables suffisamment bien triés soit disponible en surface.

Or, ces sables existent en quantités significatives dans la zone étudiée, mais la plupart du temps ils sont intimement mélangés avec des sédiments plus grossiers. Une explication alternative à l'apport massif de sables en provenance du Sud-Ouest peut être avancée comme une hypothèse suffisamment réaliste : le processus à la base de l'extension des zones à mégarides serait le tri de ces sédiments hétérogènes sous des actions hydrodynamiques modérées (par exemple, absence de fortes tempêtes à basse mer). Les sédiments les plus fins sont alors les plus mobilisés et se concentrent naturellement dans les formations superficielles.

L'apparition de mégarides est bien plus lente sur des fonds hétérogènes, constitués de graviers et sables, que sur des fonds sédimentaires meubles mieux classés. Cette apparition nécessite au préalable l'accomplissement de tout ce processus de ségrégation des matériaux : émergence de sables sur lit de matériaux plus grossiers.

#### *4.7.3.10.3 Échelle de temps de formation des mégarides*

La forme des fonds ne s'adapte pas instantanément à l'évolution des conditions hydrosédimentaires, liées autant à une modification de l'écoulement qu'à la composition des fonds. Ce temps d'adaptation, que l'on peut qualifier de période de relaxation, dépend à la fois de l'intensité du transport solide et des caractéristiques des formes de fond à l'équilibre.

Dans les conditions du secteur étudié ici, en partant au repos d'un lit plat, pour arriver à des mégarides de 0,5 m de hauteur et de 10 m de longueur d'onde, avec un débit solide moyen d'environ 50 m<sup>3</sup>/m/an en courant pur, cette échelle de temps est très approximativement de l'ordre de 2 mois. L'action complémentaire de la houle, qui augmente le transport solide, peut raccourcir significativement cette période de transition.

Cette échelle de temps est sensiblement plus longue que celle liée à la marée: les mégarides ne sont donc jamais en équilibre par rapport aux conditions d'écoulement. En réalité, elles ont toujours un temps de retard (hystérésis) et leur variabilité présente un amortissement sensible vis-à-vis de l'évolution du coefficient de marée.

De la même façon, en cohérence avec la formulation décrite plus haut, les formes de fonds de taille plus modeste, les rides, atteignent très rapidement leur état d'équilibre. Elles s'adaptent pratiquement instantanément à l'écoulement et leur polarité s'inverse immédiatement lors des renverses de courant.

Quelques indices corroborent cette analyse d'origine interne des sables par classement progressif sur la verticale des sédiments hétérogènes:

- les mégarides peuvent s'observer même pour de faibles épaisseurs sédimentaires (de l'ordre de quelques décimètres), sous forme de figures discontinues sur fonds durs apparaissant dans les creux. Le constat, fréquent ici, d'une couverture sableuse non ridée sous des actions hydrodynamiques pouvant engendrer des mégarides ne s'explique alors que par la nature très hétérogène des sédiments dits sableux ;
- seul le levé de 1996 donne une forte extension du champ de mégarides. C'est l'unique levé qui n'a pas été précédé de tempêtes violentes ou de forte activité de houle dans l'année ou les deux années qui le précèdent. Or, seules ces fortes houles sont capables, non seulement d'aplanir les mégarides, mais également de brasser les sédiments de toutes tailles (sables et graviers) et de détruire ou au moins d'altérer ainsi les classements sédimentaires que favorisent petit à petit les périodes de calme. Contrairement aux autres levés, celui de 1996 a donc été précédé d'une longue période d'agitation modérée, propice à la ségrégation des sédiments et à l'accumulation des sables dans la couche superficielle, accumulation qui favorise la genèse des mégarides ;
- en 1996, les mégarides s'observent davantage dans les secteurs du large qu'à proximité de la côte où l'action de la houle sur le fond est plus forte et mélange plus facilement les différentes classes de sédiments ;
- le mois précédant chacun des levés, les conditions extrêmes de vent sont relativement similaires et pas trop sévères (12 m/s en 1996, contre 13 m/s en 2000, 15 m/s en 1992 et 18 m/s en 1988). Il ne s'agit donc pas d'un problème d'aplanissement des mégarides par la houle peu de temps avant les levés. Ainsi, les longues périodes d'agitation modérée apparaissent-elles favorables à l'émergence de couches sableuses de surface bien triées, qui se modèlent en méga-rides. Le mouvement de sédiments est alors facilité par le tri granulométrique, qui amène les sédiments plus fins et plus mobiles en surface, ainsi que par le modelé des fonds meubles. Ce modelé accentue la contrainte de l'écoulement sur le fond et conduit à un mécanisme d'éjection de sédiments sur les crêtes des formes de fond, ce qui favorise leur mise en suspension.

De ce fait, si les périodes de forte agitation mobilisent sur de courtes périodes de fortes quantités de sédiments, les périodes plus calmes font émerger progressivement des conditions propices à des transports significatifs plus réguliers.

Ce type d'hypothèse, privilégiant le remaniement local plutôt qu'un apport externe massif, peut également s'appliquer à l'extension de la couverture sableuse constatée en 1992. Les fortes tempêtes de 1990 ont déstructuré les fonds sédimentaires et dispersé ces sédiments, qui sont venus recouvrir certains fonds durs peu saillants, tels que ceux situés entre les ridins de Neuville et la côte. Par la suite, le processus de ségrégation des sédiments s'est enclenché. Cela s'est alors traduit, initialement, par une extension des zones où le sable

apparaît en proportion significative sur le fond, zones détectées comme sableuses par le sonar à balayage latéral.

#### 4.7.3.10.4 *Épaisseur de la couverture sédimentaire meuble*

Indicateurs morphologiques

Dans ce type de contexte, marqué par une couverture sableuse relativement mince, les figures sédimentaires sont des indicateurs morphologiques privilégiés des variations relatives de l'épaisseur de sable.

À partir des sonogrammes, qui couvrent l'ensemble de la zone, et des caractéristiques sédimentologiques des échantillons, on ne peut qu'évaluer l'épaisseur de la couverture sableuse.

La couverture sableuse discontinue, modelée en rubans sableux dans le compartiment occidental, traduit une épaisseur de sédiment faible, d'ordre centimétrique à décimétrique, confirmée par une bordure diffuse de leurs limites. La soudure progressive des rubans sableux vers l'Est pour former une couverture sableuse continue, puis la présence de quelques formes d'accumulation de taille croissante vers l'Est [vagues de sable dites ridins de Mesnil-en-Caux (1 à 2 m) et ridins du Tréport (3 à 5 m)] traduisent une couverture sableuse plus épaisse.

Parallèlement, le pourcentage de sable moyen (0,2-0,5 mm) devient plus élevé dans les échantillons de la zone à couverture sableuse continue que dans ceux de la zone à couverture sableuse discontinue où les sédiments sont en moyenne plus grossiers. Le classement des échantillons ( $S_o = 1,20$  à  $1,37$ , bien à moyennement bien classés) devient meilleur lorsque la couverture sableuse est continue.

L'épaisseur de sédiment semble aussi fluctuer au cours du temps ; les mégarides, peu développées en 1988-1989 et en 1992, où elles n'occupent que 1 % environ de la superficie de la zone, montrent un fort développement en 1996 (20 % de la superficie totale, soit plus de 10 km<sup>2</sup>), avant de retrouver en 2000 des fréquences comparables à celles de 1988-1989 et de 1992. Ainsi, seul le levé de 1996 diffère des autres en ce qui concerne l'extension des mégarides et, sans doute, l'épaisseur et le stock de sables assez homogènes en surface.

L'évolution de 1996 à 2000 correspond à une inflexion de la tendance observée de 1988-1989 à 1996 avec, dans un premier temps, une extension des fonds sableux et, dans un second temps, un développement des mégarides.

De même, on observe en 1996 une augmentation du nombre de vagues de sable dites ridins de Mesnil-en-Caux. Ces structures de petite taille peuvent donc se former sur une période relativement courte, en tout cas inférieure à 4 ans. Plusieurs facteurs peuvent être à l'origine de ces variations, les uns liés aux courants, les autres aux caractéristiques du sédiment (taille, classement, volume).

#### 4.7.3.11 Causes du développement des sables grossiers ridés en 2004

La tendance globale consiste en une régression nette des fonds de sable moyen à fin, du fait du large développement des sédiments grossiers ridés, qui couvrent plusieurs km<sup>2</sup>.

Les sédiments ridés en 2004 se forment essentiellement - mais pas exclusivement - aux dépens de secteurs sableux en 2000

Ceci plaide donc en faveur d'une destruction de la structure verticale de la couche sédimentaire, plutôt que d'un apport massif et soudain de sédiments grossiers, d'autant moins probable que les superficies concernées sont importantes (estimées à 4 km<sup>2</sup>).

L'hypothèse privilégiée est celle d'un mécanisme opposé à celui mis en évidence pour interpréter l'important développement des surfaces sableuses de 1988 à 2000, qui est celui d'un tri vertical des sédiments hétérogènes sur place.

En 2004, il s'agirait du mécanisme inverse, initié par la houle : le tri vertical aurait été détruit par les houles, dont les dernières sont survenues en juin 2004, la couche de sédiment superficielle aurait été remaniée, mélangée, d'où ses caractéristiques grossières.

Cela s'accorde avec le « lessivage » des amas grossiers, dont le placage sédimentaire superficiel s'est nettement réduit.

D'autres évolutions, de moindre importance, témoignent également de l'action de la houle :

- dans le compartiment occidental, la modification des limites entre sable et sédiment grossier, au sein de l'enchaînement de rubans sableux du large, sans modification de l'orientation de ce système. Ces modifications semblent plus importantes qu'elles ne l'étaient entre 1996 et 2000, ce qui donne au placage sableux un aspect moins continu, plus « déchiqueté »,
- dans la partie côtière du compartiment occidental, les petites zones de roche affleurante ou sub-affleurante sont plus nombreuses en 2004 qu'en 2000. La mise à nu de la craie sous-jacente traduit à la fois la faible épaisseur de sédiment dans ce secteur, et sa sensibilité à l'action de la houle.
- en périphérie des Ridins de Neuville, le sédiment grossier s'est développé, parallèlement à une mise à nu de la roche qui compose ce relief.
- en pied d'estran, la roche semble s'être étendue vers le large, de la centrale de Penly à Criel, ce qui pourrait correspondre à une érosion du sédiment au pied de l'abrupt rocheux, dont la présence amplifie l'intensité de la houle.

#### *4.7.3.11.1 L'origine des sables grossiers en 2004*

Si on compare les zones à sables graveleux ridés en 2004 et leurs homologues de 2000, on s'aperçoit que ce faciès s'est formé aux dépens de zones de sable superficiel fin à moyen, ou de zones à faciès qualifié d'« hétérogène », mais en aucun cas de zone à sédiment grossier.

Par ailleurs, les mégarides observées en 2004 diffèrent de celles observées en 1996 par une longueur d'onde plus faible et plus homogène, s'inscrivant sur un sédiment différent (les rides de courant, de longueur d'onde pouvant atteindre 15 à 20 m, façonnaient de vastes étendues de sable moyen -20% de la superficie totale de la zone commune- lors du levé de 1996).

Cela renforce l'hypothèse d'une destruction par les houles hivernales de la structure verticale du sédiment qui prévalait en 2000 notamment.

On peut ainsi résumer la situation :

En période d'agitation faible à modérée, un **classement progressif** sur la verticale des sédiments hétérogènes favoriserait l'apparition d'une couche superficielle de sédiments relativement fins et triés. Ces sédiments superficiels mieux classés faciliteraient alors, à leur tour, le développement graduel de mégarides (*Augris et al, 2004*).

En période de forte agitation (pendant et après des tempêtes), l'action de la houle sur le fond remanie les sédiments, laisse son empreinte sous la forme de mégarides et provoque la



disparition du classement vertical. Le sédiment hétérogène présente alors une teinte sombre sur les sonogrammes, ce qui traduit son caractère grossier.

Ce remaniement sur place n'exclut pas un transport de sable, notamment vers la côte ; par contre, il permet d'expliquer les évolutions constatées, notamment le passage de vastes zones sableuses à des fonds plus grossiers - en surface- entre 2000 et 2004 sans faire intervenir une disparition massive des sables superficiels.

L'influence de la météorologie est nette ; l'action de la houle sur les fonds a pour conséquences :

- le remaniement des sédiments superficiels hétérogènes, qui se traduit par la destruction du granoclassement vertical et par la formation de mégarides,
- par un certain lessivage des amas caillouteux des très petits fonds, et la dispersion des sables et vases qui leur sont associées,
- par un affouillement au pied des abrupts de bas d'estran, dont la limite semble s'être légèrement déplacée vers le large,

L'évolution constatée entre 2000 et 2004 n'est probablement pas continue au cours des 4 années séparant les deux levés. Elle correspond plutôt à une modification de courte période, liée à un événement météorologique ponctuel, peut-être initiée lors de la période hivernale précédente. La durée nécessaire pour que les modifications observées s'estompent n'est cependant pas connue avec précision.

Enfin, le levé de 2004 permet a posteriori d'interpréter deux « faciès acoustiques hétérogènes » identifiés en 2000 et en 1996. Les « sables peu épais » de 2000, et les « sables fins à moyens alternant avec du sédiment grossier » de 1996 correspondent probablement à un mélange sédimentaire, à classement vertical partiel.

#### *4.7.3.11.2 « Disparition » des sables grossiers ridés en 2008*

Alors que lors du levé de 2004, la forte extension de sables grossiers modelés par des mégarides de houle, dans des fonds essentiellement sableux en 2000, avait été interprétée comme une destruction par la houle du classement vertical du sédiment, qui amène en surface des sédiments plus grossiers et hétérogènes, à teinte sombre sur les sonogrammes, le levé de 2008 peut être interprété comme un levé « de beau temps ». L'absence quasi-généralisée de sédiments grossiers ridés, l'extension relative des surfaces sableuses, l'aspect diffus de certaines limites de placages sableux, plaident en faveur d'un granoclassement vertical qui s'établit progressivement, en liaison avec des conditions de faible agitation. A cela s'ajoute aussi le nombre important de traces d'engins de pêche, pas ou peu dégradés, qui indiquent un faible remaniement du fond par la houle.

Outre l'incompatibilité entre les évolutions constatées et les caractéristiques courantologiques du site, déjà mentionnée, les variations brutales des surfaces façonnées de mégarides, à la fois dans le sens de leur formation (en 1996 et 2004), et de leur « disparition », en 2000 et 2008, plaident en faveur d'une structuration/déstructuration verticale de la couche sédimentaire. En effet, les mégarides, qu'elles affectent les sables moyens (en 1996) ou les sédiments grossiers (en 2004) occupent des surfaces importantes (20% de la superficie en 1996) et sont pratiquement absentes sur les autres levés. Aucun état intermédiaire n'est observé, ce qui plaide en faveur de variations rapides et brutales.

#### *4.7.3.11.3 Essai de corrélation avec les conditions météorologiques*

Aucun enregistrement de houle n'étant réalisé sur le site, nous avons tenté de corrélérer ces évolutions, caractérisées par des inversions de tendance, entre 2000 et 2008, aux données de vent, qui génère la houle. Pour cela, nous avons utilisé les vitesses du vent moyen du mois et les directions du vent maximal moyen à Dieppe, entre 1999 et 2008.

A l'évidence, les seules vitesses du vent moyen ne permettent pas à elles seules d'expliquer les variations observées. A titre d'exemple, le levé de juillet 2004 a été réalisé après un hiver assez agité, mais avec des directions de vent variables, d'Ouest à Nord-Est.

Le mois précédant le levé a par contre été caractérisé par un régime de vent de SW assez soutenu, qui semble avoir influencé la répartition des sédiments sur le site.

Par contre, le levé d'avril 2000 a été précédé, de décembre 1999 à Mars 2000 de vents assez soutenus de Sud-Ouest à Nord-Nord, en moyenne plus intenses que ceux précédant le levé de 2004, ce qui n'a pas empêché la persistance de vastes étendues sableuses en surface.

Le levé de 2008 s'est déroulé dans des conditions de vent exceptionnellement calmes, mais a été précédé, en Mars de vents de secteur Nord assez intenses, et dans les mois précédents (Novembre 2007 à Janvier 2008) d'un régime de Nord-Ouest assez soutenu. Il semble bien que ce soient les conditions précédant immédiatement la mission et lors de celles-ci qui aient favorisé la structuration verticale de la colonne sédimentaire et amené en surface les sables moyens.

En l'absence de mesure de houle sur le site, il est difficile de déterminer quel évènement est à l'origine de chaque type de répartition, mais il semblerait que les conditions « court terme » soient prépondérantes.

## **4.8 Lien entre évolutions sédimentologiques et faunistiques**

**L'envasement est très variable** à la fois dans le temps et entre les stations, dans la « zone d'envasement ». Parallèlement, des variations faunistiques sont-elles observées ?

L'envasement des sédiments peut être amplifié par les peuplements benthiques :

- en 1988, les envasements les plus forts étaient associés à des peuplements denses de *Lanice conchilega*
- en 2008, des envasements étaient également identifiés sur des points colonisés par les crépidules.

**Le seuil de détection des crépidules** par imagerie acoustique ne peut être défini précisément ; le sonar permet de détecter des peuplements d'une densité de l'ordre de 700 ind./m<sup>2</sup>, mais pas ceux d'une densité inférieure à 100 ind./m<sup>2</sup>. Le seuil de détection serait donc d'une à plusieurs centaines d'ind./m<sup>2</sup>, sans plus de précision à l'heure actuelle.

*Nota : La crépidule a été prélevée pour la première fois dans les fonds marins des abords de Penly en 1996, et semble progresser depuis. Sur le site voisin de Paluel, la crépidule est présente depuis 1997.*

*Quelques dizaines d'individus de taille centimétriques, fixés sur des coquilles de mollusques ont également été repérés sur la plage de Equihen (Sud immédiat de Boulogne-Sur-Mer) en Août 2005.*

*En 2009, un peuplement diffus d'une centaine de crépidules a été observé entre Wimereux et Ambleteuse, au Nord de Boulogne, sur le platier rocheux qui prolonge la Pointe aux Oies. Cela semble montrer un certain développement de l'espèce en Manche orientale. Ces*

*peuplements d'estran ne sont probablement que le reflet de peuplements plus importants, en domaine immergé proche.*

### **Impact possible des traces de chalutage sur la faune benthique ?**

A l'inverse du levé de 2004, réalisé peu de temps après une période de forte houle favorisant l'effacement des traces sur les fonds meubles, le site de Penly présente en mai 2008 une forte densité de traces d'engins de pêche. La grande majorité de ces traces sont des traces de chalutage, laissées sur le fond par les panneaux de chalut.

Ces traces, bien marquées, notamment sur les fonds grossiers, semblent assez récentes – on a d'ailleurs rencontré des chalutiers en action de pêche lors de la mission -. Sur les fonds sableux, plus mobiles, certaines traces s'estompent, tandis que d'autres restent nettement visibles.

Ces traces témoignent d'une intense activité de chalutage avant et pendant la période de reconnaissance, et ce jusqu'à une faible distance de la côte, parfois moins de 1 km. Par leur fréquence et leur netteté sur les images, elles témoignent aussi de l'absence de remaniement du fond par les houles avant ou lors de la mission, ce qui s'accorde avec le temps calme qui a prévalu tout au long des levés.

Ces traces de chalutage peuvent interagir avec la colonisation des fonds par les crépidules, de deux manières : tout d'abord, certaines traces de chalutage présentent un bord moins net, qui pourrait traduire une colonisation des sillons laissés sur le fond par les crépidules ; ensuite, certaines traces recoupent les zones colonisées, ce qui pourrait contribuer à la dissémination des individus, et à la multiplication des zones colonisées.

Les traces de chalutage, lorsqu'elles sont très nombreuses, et d'orientation pratiquement identique, dans l'axe des courants, peuvent localement réduire la précision du report cartographique, notamment au niveau des limites de placages sableux, en accentuant leur caractère diffus.

On peut également s'interroger sur l'impact du passage répété de panneaux de chalut sur la faune benthique. Il semble très improbable que celui-ci n'ait aucun impact sur les individus fixés sur les cailloutis, mais celui-ci est difficile à évaluer, d'autant que la zone la plus chalutée n'est pas la zone prioritaire pour les prélèvements de sédiment.

## 4.9 Conclusions

Les différents indicateurs disponibles (figures sédimentaires, vitesses de courants...) montrent, de façon convergente, que le **transport de sédiments dans le secteur marin étudié est orienté du Sud-Ouest vers le Nord-Est**, de façon sensiblement parallèle à la côte. L'orientation n'en diffère notablement que dans la partie occidentale (approximativement à l'Ouest de Penly) où l'effet de déflexion du cap d'Ailly (influence de la morphologie littorale) engendre un retour des sédiments fins vers la côte, selon une direction Ouest-Est.

La prédominance du flot (portant vers le Nord-Est) sur le jusant (portant vers le Sud-Ouest) explique pour une bonne part le sens de cette dérive des matériaux. Mais la houle y contribue également, de par sa provenance dominante Ouest à Nord-Ouest.

Les courants de marée décroissent du Sud-Ouest au Nord-Est, ce qui entraîne une modification progressive de la nature des fonds : plus grossiers à l'Ouest, dans la zone de plus fort courant, qu'à l'Est où le courant faiblit.

Si les sables peuvent être aisément entraînés par les courants de marée, ce n'est pas le cas des sédiments plus grossiers, de type graviers. Pour ceux-ci, de fortes houles sont nécessaires et seront particulièrement efficaces lors des basses mers de vive-eau. Ces houles ont également pour effet de renforcer le transport des sables par les courants, et de leur donner une composante légèrement oblique sur la direction des courants. C'est par cette action que les matériaux fins peuvent se rapprocher petit à petit de la côte.

**Au cours des 20 dernières années**, de nombreuses évolutions sédimentaires sont observées entre Dieppe et Criel-sur-Mer. Elles concernent la répartition de la couverture sableuse et des variations de taille et d'envasement des sédiments (près de la côte), **en amont comme en aval de la centrale**.

Après une période 1988 – 2000 caractérisée par une tendance à l'extension des surfaces sableuses (plus marquée entre 1988 et 1992 qu'entre 1992 et 2000), ces dernières se sont fortement réduites en 2004, avec la prédominance en surface de sédiments grossiers ridés. Cette tendance s'est ensuite inversée entre 2004 et 2008.

Malgré l'absence de levé bathymétrique fin lors des différentes missions, ces inversions de tendance s'accordent bien avec l'évolution faible des fonds du secteur, qui atteint au maximum 1 mètre entre 1835 et 1989 (*Augris et al, 2004*).

La comparaison des échantillons prélevés a quant à elle montré des variations granulométriques complexes, en raison de l'hétérogénéité et de la faible épaisseur du stock sédimentaire.

Les évolutions constatées en domaine subtidal s'expliquent pour l'essentiel par des **mécanismes naturels** :

- la **morphologie du substrat crayeux**, en particulier aux abords de Dieppe, où la craie sénonienne, plus dure, constitue un relief par rapport aux zones environnantes, sur lequel aucune couverture sableuse ne peut s'installer durablement. A l'inverse, les abords de Penly ont un substrat d'âge turonien, plus tendre car moins riche en silex, qui favorise un modelé en creux, dans lequel s'installe une couverture à dominante sableuse.

Ce facteur morphologique vient s'ajouter au facteur courantologique, marqué par une diminution de vitesse des courants de Dieppe vers Penly.

- comme dans l'ensemble de la Manche orientale, la zone de 6 à 10 m de profondeur est une **zone d'énergie minimale**, qui favorise la sédimentation de particules fines (sables fins parfois envasés). La particularité du secteur de Penly réside dans la présence d'amas caillouteux, accolés à l'abrupt rocheux de pied d'estran (Roches du Muron) ou dissociés de celui-ci (de part et d'autre de Penly), qui constituent des reliefs métriques.

Ces amas de galets résiduels, dont la stabilité dans le temps est une caractéristique du site, constituent un piège efficace pour les sédiments en transit, notamment les plus fins, transportés en suspension. Ceux-ci, abondants dans la zone, sont captés par les reliefs caillouteux, s'accumulent sur et entre les cailloutis, en période calme (absence de houle forte).

L'ensemble amas de galets et sédiment fin surimposé constitue un substrat riche et à morphologie irrégulière, favorable à l'implantation d'une faune benthique diversifiée, notamment des Lanices, mais ces amas peuvent aussi être soumis à l'action des houles les plus fortes, qui « lessivent » les composants les plus fins, et probablement une partie de la faune associée.

L'édification des « taches envasées » est donc lente, et peut se développer sur plusieurs années, alors que le démantèlement de l'accumulation sablo-vaseuse et de la faune associée peut être très rapide, à l'échelle d'une tempête plus forte, ou d'un coup de vent survenant à basse mer par exemple. Cet envasement, variable dans le temps et entre les différentes stations du même échantillonnage, touche à la fois les amas caillouteux et les sables fins situés principalement entre ceux-ci et la côte.

- L'influence météorologique sur la structure verticale de la couverture sédimentaire meuble est nette. Plus au large, au-delà des très petits fonds, les houles peuvent aussi provoquer un remaniement des sédiments superficiels. Celui-ci se traduit en surface par la formation de rides de houle de courte longueur d'onde, d'extension pluri-kilométrique sur le site de Penly en 2004. Ces houles modifient aussi le classement vertical du sédiment.

De la même manière que le développement progressif de la couverture sableuse et l'extension substantielle des mégarides de courant observée en 1996 ont été attribuées à un classement progressif sur la verticale des sédiments hétérogènes, en l'absence de violentes tempêtes, qui favoriserait l'apparition d'une couche superficielle de sédiments relativement fins et mieux triés qu'après de fortes tempêtes. , la forte extension en 2004 de sables grossiers modelés par ces mégarides de houle, dans des fonds essentiellement sableux en 2000, est interprétée comme une destruction par la houle du classement vertical du sédiment, qui amène en surface des sédiments plus grossiers et hétérogènes, à teinte sombre sur les sonogrammes.

Cette modification des fonds est d'une ampleur équivalente au développement apparent de la couverture sableuse, qui avait prévalu de 1992 à 2000, mais n'est que temporaire. En 2008, ces sables grossiers ridés ne sont plus observés ; ils ont fait place à une couverture de sables moyens, qui traduit une restructuration verticale de la colonne sédimentaire.

**A l'échelle régionale**, la zone de Dieppe-Criel-sur-Mer est une zone de transition entre les fonds grossiers, à l'Ouest du Pays de Caux et les fonds sableux de Picardie et du Pas-de-Calais. La couverture sableuse y est assez continue, mais hétérogène, mal classée, généralement peu épaisse et soumise à de fortes fluctuations.

Les deux **principales incertitudes** concernent **l'influence des apports sédimentaires depuis l'Ouest**, notamment les particules fines, et la **part respective du classement vertical des sédiments et des apports depuis l'Ouest** dans les variations observées.

#### **Problématique des particules fines** à l'échelle de la Seine-Maritime

Les sédiments sablo-vaseux, transitant naturellement ou provenant du dragage portuaire, sont importés dans le domaine côtier en quantité importante. Aux apports naturels de la Seine, s'ajoutent en effet :

- 23 millions de mètres cubes issus de l'entretien portuaire sur une quinzaine d'années
- 30 millions de mètres cubes provenant du creusement du port d'Antifer, dans les années 1970 ;
- 35 millions de mètres cubes provenant de l'érosion des falaises, pour la période 1965-1995 ;
- 30 millions de mètres cubes prévus à court terme, dans le cadre du programme « Port 2000 », qui seraient clapés à Octeville.

Les sédiments clapés au large ne restent pas sur place, mais on ne connaît pas précisément leur devenir au-delà de leur zone de rejet. Certains indices laissent supposer qu'ils ont une extension limitée en mer et ne se dispersent pas totalement dans le domaine marin, mais viennent se concentrer le long de la côte, dans les très petits fonds.

Au vu de l'extension en mer des fonds composés du type de sédiment rejeté (vases et sables fins), limitée à quelques tronçons des très petits fonds (en particulier Berneval - Criel-sur-Mer) et aux enceintes portuaires, ainsi que de l'absence de cette fraction sablo-vaseuse dès que l'on s'éloigne de la côte (cf. Dieppe-Le Tréport, Paluel et zone du large), on peut s'interroger sur le devenir des sédiments clapés.

Au lieu d'une « dispersion sur une vaste zone » maintes fois évoquée dans la bibliographie, ces sédiments ne sont-ils pas progressivement « plaqués à la côte », comme le sont les sables entre Antifer et Ailly, lors de leur dérive vers le Nord-Est, par le jeu conjugué des houles de secteur Ouest à Nord-Ouest et des courants de marée ? Dès lors, ne leur est-il pas possible de se déposer dans les secteurs côtiers « favorables » ? Les zones potentielles d'accumulation des sables fins et des vases sont très limitées ; ce sont, d'une part, les très petits fonds (par exemple de part et d'autre de Dieppe où on sait que ces sédiments subissent encore des remaniements sur une courte période), d'autre part, les ports de Fécamp, Saint-Valéry-en-Caux, Dieppe, Le Tréport, ainsi que le chenal de la centrale EDF de Penly et la baie de Somme.

En s'appuyant sur le site atelier de Dieppe-Le Tréport, où un retour vers la côte des sédiments rejetés au droit du port de Dieppe vers la centrale de Penly notamment est clairement envisagé, il paraît possible que le sédiment dragué au Havre, clapé à Octeville, se dépose ensuite à Antifer, Fécamp, Saint-Valéry-en-Caux, d'où il est ensuite extrait pour être à nouveau rejeté en mer...

Un même sédiment pourrait dans ce cas se déposer puis être dragué et rejeté en mer à plusieurs reprises le long des côtes de la Seine-Maritime, de Picardie, voire du Pas-de-Calais, d'où l'intérêt d'envisager une gestion « régionale » du dragage portuaire, s'appuyant sur une étude spécifique visant à préciser le devenir à long terme des produits rejetés, par exemple à l'aide de marqueurs naturels (glauconie pour les sables verts rejetés à Antifer), sédimentaires ou chimiques.

**Lien entre la présence en surface de sables moyens mobiles, sur l'alimentation des estrans, l'ensablement des ouvrages, et alimentation des bancs du Pas de Calais ?**

Le processus de structuration verticale des sédiments, dont l'hypothèse avait été émise à l'issue du levé de 2000 semble se confirmer et permet d'expliquer les variations rapides et inverses observées ultérieurement. Cependant, on ne connaît pas les effets précis de cette ségrégation, qui amène en surface un sédiment sableux mobile. Un coup de vent, en particulier de secteur ouest, survenant lorsque la fraction sableuse est bien développée sur le fond n'aurait-il pas pour effet, d'entraîner des volumes sableux non négligeables à la fois vers la côte, où ils pourraient à la fois contribuer à terme à l'alimentation des estrans, et à l'ensablement des ouvrages notamment portuaires, et vers le Nord, où il contribuerait à l'alimentation du système de bancs sableux du Pas-de-Calais ?

**La centrale de Penly subit l'influence de la dynamique sédimentaire marine (Fig. 49) :** le rythme des dépôts a été évalué, par différentiel bathymétrique, à plus de 70 000m<sup>3</sup>/an (Villaret, 1993). Ces dépôts sont significativement plus importants en période hivernale (de l'ordre de 50% en moyenne annuelle) Les sédiments sont constitués de sables fins envasés.

**L'impact de la centrale est un impact mécanique,** principalement lié à l'obstacle constitué par les ouvrages externes. La construction de la centrale a eu pour effet, outre l'impact mécanique lié à la construction du terre-plein et des ouvrages extérieurs, de bloquer les transferts sableux d'estran. De ce fait, les sédiments (galets et sable) se sont accumulés en amont de l'ouvrage, provoquant le développement d'un important cordon de galets en pied de falaise, et l'extension de la plage sableuse. Cette augmentation nette des volumes sédimentaires ne s'est pas accompagnée d'un changement de nature et de répartition des sédiments intertidaux ; les sables, voire les vases, étaient présents sur les estrans des abords de Penly avant la construction de la centrale (de même que les Lanice), avec un gradient granulométrique analogue au gradient actuel, mais les volumes sableux étaient en 1975 peu importants et assez peu épais, et probablement mobiles, et laissaient place localement à la dalle calcaire.

Ce blocage des galets et des sables en amont des ouvrages s'accompagne d'un déficit à l'aval. Ce déficit sédimentaire est potentiellement un facteur d'accentuation de la vitesse de recul des falaises, plus intense à l'Est de Penly qu'à l'Ouest. En effet, le recul moyen est de 21 cm/an sur l'ensemble des falaises littorales de Seine-Maritime, de l'ordre de 20 cm/an entre Dieppe et Le Tréport, alors qu'il atteint 28 cm/an entre la centrale de Penly et Criel-sur-Mer, sur la période de 1966 à 1995.

La variabilité des vitesses de recul est liée, d'une part, à des variations lithologiques (résistance des craies à l'érosion) et d'autre part, à l'influence d'obstacles naturels (éboulements de falaises) ou anthropiques (épis et jetées). Ces obstacles induisent en aval une forte réduction du volume sédimentaire, favorisant les actions marines, et donc le recul des falaises (Costa, 1997, 2000, Costa et al., 2002, Augris et al, 2004).

## 4.10 Version abrégée

*Le site de Penly se situe sur le littoral du Pays de Caux, qui borde la Manche orientale sur 130 km de long, depuis la baie de Seine au sud-ouest jusqu'aux abords de la baie de Somme au nord-est ; celui-ci se caractérise par des falaises crayeuses, plus ou moins riches en lits de silex, d'altitude moyenne de 70 m.*

*Les fonds de la Manche orientale sont caractérisés par un relief peu mouvementé et des profondeurs excédant rarement 50 m. Au droit du Pays de Caux, la topographie de la plate forme rocheuse, comprise entre 0 et 20 m, est également peu mouvementée. La pente moyenne est faible, de l'ordre de 0,7 %, et croît de la baie d'Authie (0,1 %) à Antifer (2 %).*

*Les fonds sont recouverts d'une pellicule mince (d'épaisseur métrique) et discontinue de sédiments meubles (sables et cailloutis). Ces formations superficielles surmontent un substratum rocheux (calcaire) et se décomposent en une unité inférieure constituée par des sédiments grossiers (cailloutis, graviers, sables grossiers), et une unité supérieure caractérisée par des sables moyens à fins. Ces sédiments sont essentiellement lithoclastiques, et portent les marques d'actions marines et continentales issues de leur histoire anté-holocène en domaine périglaciaire. Redistribués par la transgression flamandaise et progressivement contaminés par des bioclastes, leur répartition est contrôlée par les houles et les gradients de vitesse des courants de marée. Ainsi, là où les courants sont les plus forts (entre le Cap d'Antifer et Saint-Valéry-en-Caux), les fonds sont caractérisés par l'omniprésence de cailloutis de taille supérieure à 20 mm. De part et d'autre de ce secteur, la diminution des vitesses des courants de marée induit un gradient d'affinement des sédiments vers les baies de Seine et de Somme. Du large vers les fonds de 6 à 10 m, les matériaux s'affinent également, allant des cailloutis aux sables fins parfois envasés.*

*La Seine-Maritime appartient au **domaine tempéré océanique**. Son climat est caractérisé par de faibles contrastes thermiques et des précipitations réparties assez régulièrement sur l'année (700 à 800 mm/an en moyenne). Les vents dominants et les houles qu'ils génèrent proviennent du secteur Ouest à Sud-Ouest. À l'approche de la côte, ces houles pivotent pour s'orienter plus normalement au rivage.*

*La hauteur de houle est relativement homogène le long du littoral, excepté dans le secteur du Havre où elle est plus faible, conséquence d'une moindre exposition aux houles d'Ouest. Dans l'ensemble, la hauteur significative de la houle reste inférieure à 1m pendant 70 % du temps. Elle ne dépasse 3 m qu'un jour par an.*

*La Manche orientale est un **environnement de type macrotidal**. L'amplitude de la marée croît progressivement vers le Nord-Est : en vive-eau exceptionnelle, elle atteint environ 8 m au Havre et 10 m au Tréport. Les courants sont principalement dus à la marée. Les vitesses maximales en vive-eau moyenne croissent du cap de La Hève (0,6 m/s) à Étretat (près de 2 m/s), puis décroissent progressivement vers l'Est pour atteindre 0,9 m/s devant la baie de Somme. Ces courants se réduisent également à l'approche du rivage.*

*L'importance des **recherches menées en vingt ans** (1988-2008) entre Dieppe et Le Tréport ont favorisé la connaissance approfondie du secteur. Ainsi, les six campagnes de cartographie géologique qui font de ce secteur le site marin le plus suivi en France ont*



permis, non seulement de constituer un état de référence, mais également d'observer les modifications des fonds marins à échéance périodique de quatre ans.

La méthodologie mise en oeuvre pour ces travaux repose sur l'utilisation combinée:

- d'un sonar à balayage latéral qui permet de distinguer le type de fond ;
- d'un sondeur bathymétrique qui mesure la hauteur d'eau;
- d'une benne destinée aux prélèvements d'échantillons de fonds sédimentaires.

D'après le levé initial de 1988-1989, deux types de fond prédominent sur l'ensemble du secteur examiné : les sables fins à moyens (61 % de la surface totale) et les sédiments grossiers, allant des sables grossiers aux cailloutis (32 % de la surface totale). Le substratum rocheux et les sables envasés n'occupent respectivement que 3 et 4 % des fonds. Les sédiments sont en moyenne sensiblement plus fins à l'Est qu'à l'Ouest. La couverture sableuse est plus épaisse et plus continue lorsque le substratum s'inscrit en creux (influence de la lithologie). Enfin, les sédiments envasés sont localisés dans les fonds de l'ordre de 6 à 10 m, dans le voisinage de la centrale EDF de Penly. Le modelé des sables se caractérise par le très faible développement des mégarides qui ne façonnent qu'environ 1 % de la superficie de la zone. Les modifications observées de 1988-1989 à 2000 se caractérisent essentiellement par le développement de la couverture sableuse, important dans un premier temps (de 61 % à 68 % de la zone commune entre 1988-1989 et 1992), puis plus limité ensuite (jusqu'à 72 % en 2000). La fréquence des mégarides de sable reste faible, aux alentours de 1 %, à l'exception notable de la campagne de 1996 où elle atteint 20 %.

L'épaisseur de la couverture sédimentaire meuble peut être sommairement évaluée à partir des indicateurs morphologiques que sont les structures sédimentaires (vagues de sable, mégarides, traînées et rubans sableux). Celles-ci attestent une épaisseur faible, en moyenne inférieure au mètre, à l'Ouest, alors qu'à l'Est la couche sédimentaire dépasse souvent le mètre.

Quelques mesures ponctuelles par carottage ou sismique-réflexion donnent des indications localement plus précises : en particulier, une tendance à l'épaississement de la couche meuble dans les très petits fonds, en pied d'abrupt de platier.

Le long du littoral, trois **grands aménagements** sont implantés : le port de Dieppe, la centrale EDF de Penly et le port du Tréport. Ces ouvrages ont un **effet important sur la dynamique sédimentaire**:

- ils piègent à l'intérieur des bassins les vases apportées en suspension ;
- ils bloquent le cheminement vers le Nord-Est des galets en haut d'estran ;
- ils affectent la dynamique des sables par piégeage à l'Ouest des digues occidentales.

Enfin, l'observation, par sonar à balayage latéral, des traces laissées par les diverses activités humaines a permis d'en dresser un panorama complet : traces d'engins de pêche (chaluts et dragues à coquilles, filières de casiers), traces de clapage de déblais portuaires.

Les différents indicateurs disponibles montrent, de façon convergente, que le **transport de sédiments dans le secteur marin étudié est orienté du sud-ouest vers le nord-est**, de façon sensiblement parallèle à la côte. L'orientation n'en diffère notablement que dans la partie occidentale (approximativement, à l'Ouest de Penly) où l'effet de déflexion du cap d'Ailly engendre un retour des sédiments vers la côte, selon une direction Ouest-Est. La prédominance du flot (portant vers le Nord-Est) sur le jusant (portant vers le Sud-Ouest)

explique pour une bonne part le sens de cette dérive des matériaux. Mais la houle y contribue également, de par sa provenance dominante Ouest à Nord-Ouest.

*Les courants de marée décroissent du Sud-Ouest au Nord-Est, ce qui entraîne une modification progressive de la nature des fonds : plus grossiers à l'Ouest, dans la zone de plus fort courant, qu'à l'Est où le courant faiblit. À l'Ouest, du fait de ces fonds plus grossiers, le transport solide n'est pas plus intense qu'à l'Est, malgré des vitesses plus fortes.*

*Si les sables peuvent être aisément entraînés par les courants de marée, ce n'est pas le cas des sédiments plus grossiers, de type graviers. Pour ceux-ci, de fortes houles sont nécessaires et seront particulièrement efficaces lors des basses mers. Ces houles ont également pour effet de renforcer le transport des sables par les courants, et de leur donner une composante légèrement oblique sur la direction des courants. C'est par cette action que les matériaux peuvent se rapprocher petit à petit de la côte.*

*Sur le moyen terme, la faiblesse des apports sableux en provenance de l'Ouest tend à provoquer l'érosion des fonds de sédiments fins situés sur l'Est du secteur et, à faire reculer vers l'Est, la limite du prisme sableux constitué devant le littoral picard. Au niveau du Tréport, les fonds se sont ainsi abaissés en moyenne de 1m en un peu plus de 150 ans (1835-1989) alors que devant Dieppe, dans le même temps, on observe une certaine stabilité des fonds.*

**La topographie du bas d'estran rocheux est caractérisée par la présence fréquente d'un abrupt.** Celui-ci joue un rôle primordial dans la dynamique et les échanges sédimentaires entre la côte et le large:

- il bloque, au moins en partie, la migration des sédiments du large vers la côte sous l'effet des vagues et il occasionne ainsi la formation d'une accumulation de matériaux au pied de l'abrupt. L'épaisseur meuble y est bien plus significative que celle que l'on observe plus au large ;

- il réduit ainsi considérablement les apports de sables sur l'estran ; de ce fait, ces faibles quantités qui parviennent sur le platier sont bien plus limitées que ce que le courant, et surtout la houle, sont capables de transporter. L'estran est donc débarrassé de ces sables qui ne peuvent subsister qu'aux endroits où il est piégé : fosses, ouvrages (digues) ou porosité des cordons de galets qui empêchent leur cheminement vers l'Est;

- il piège les matériaux les plus grossiers, qui ne peuvent plus remonter ensuite sur l'estran. Ces matériaux grossiers sont produits par l'usure du platier ou le recul de la falaise. Généralement poussés contre la falaise par les houles pour former un cordon de galets, ils sont, plus rarement, entraînés vers le bas d'estran par retraits de vagues, courants de retour de la houle localisés, où ils tombent de l'abrupt ou descendent par les carniaux.

**Sur l'estran**, les sables se rencontrent essentiellement sous forme de placages peu épais et de dimensions limitées, ou dans les secteurs où ils peuvent être piégés: dans le cordon de galets, en amont des ouvrages qui bloquent le transit, ou dans les paléo-thalwegs. Mais, cette présence modeste s'accompagne d'une forte dynamique et d'échanges transversaux importants, essentiellement sous l'action de la houle, d'une part, entre le platier et le cordon de galets et, d'autre part, entre ce même platier et les très petits fonds. La rapidité avec laquelle une plage de sable s'est constituée à l'Ouest des ouvrages de la centrale EDF de Penly témoigne de l'intensité de ces échanges, bien mise en évidence dès qu'un obstacle bloque le transit.

*En domaine marin, outre la zone commune décrite précédemment, d'autres sites ont été cartographiés devant le littoral de la Seine-Maritime : à l'Ouest, du Cap d'Antifer à Dieppe, à l'Est, de Criel-sur-Mer à la Baie de Somme, et au large de Penly.*

*À l'Ouest de Dieppe, le secteur côtier d'Antifer à Ailly est considéré comme un secteur exclusivement caillouteux. La campagne de cartographie menée en 2006 par l'Ifremer a montré que le sable était effectivement peu présent, localisé essentiellement en aval des caps, même peu marqués, et que l'étendue des surfaces sableuses augmentait régulièrement le long du littoral haut-normand. Les levés réalisés montrent une zonation d'ensemble caractérisée par des fonds grossiers à l'Ouest (Antifer – Paluel) avec une couverture sableuse très diffuse et plaquée à la côte, une zone de transition (Paluel – Saint-Valéry-en-Caux), avec une couverture sableuse peu abondante et mal classée, devenant plus continue vers l'Est. (Saint-Valéry-en-Caux – Ailly). On observe donc un gradient sableux du SW vers le NE, marqué par une augmentation progressive des surfaces sableuses entre Antifer et Saint-Valéry-en-Caux.*

*Au large du site de la centrale de Penly (entre 10 et 14 milles environ de la côte), la couche sableuse épaisse est constituée presque exclusivement de sables moyens à grossiers, couvrant environ 60 % de la surface examinée. Les vagues de sable sont fréquentes, de même que les mégarides présentes dès que le sédiment est bien classé. Entre ce secteur du large et le secteur côtier, les quelques profils réalisés en 1993 font essentiellement apparaître des rubans.*

*L'analyse de la dynamique sédimentaire établit que les fonds marins situés au large de la Seine-Maritime sont contrôlés par les caractéristiques des mouvements des masses d'eau sus-jacentes et, notamment, par les courants de marée. L'accélération de l'écoulement dans le secteur Ouest conduit à une augmentation substantielle de la taille moyenne des sédiments qui tapissent le sol. Elle entraîne dans le même temps un appauvrissement progressif de la teneur en sable dans cette couverture sédimentaire. Dans le secteur Est, la décélération du courant amène à l'opposé un affinement progressif des sédiments superficiels, puis un épaississement de la couche sédimentaire, prélude à l'amorce des bancs du Nord – Pas-de-Calais.*

*Au large (à plus d'une dizaine de kilomètres), les courants sont moins intenses que dans le secteur côtier. De ce fait, les sédiments y sont en moyenne moins grossiers et la présence de sable plus répandue. Cependant, de façon paradoxale, les sables fins y sont plus rares, à cause de l'absence de source d'alimentation en sédiments de cette nature à l'Ouest. Inversement, près de la côte, le secteur littoral est alimenté en sables fins provenant naturellement de l'embouchure de la Seine ou apportés artificiellement en grandes quantités par les clapages. Ces apports, dont les sources sont de plus en plus conséquentes, cheminent du Sud-Ouest vers le Nord-Est, en tendant à se rapprocher progressivement du littoral sous l'action des houles.*

*C'est dans ce contexte régional que se situe le site atelier Dieppe-Criel-sur-Mer : celui-ci apparaît alors comme une zone de transition où le ralentissement des courants permet le dépôt de sédiments fins en provenance de l'Ouest, par-delà la zone à cailloutis. Cependant, cette alimentation est trop faible pour occasionner une épaisse couche sédimentaire et trop disparate pour que cette couche soit homogène. Il en résulte une forte sensibilité de la nature des fonds superficiels aux conditions météo-océaniques, qui se traduit par leur extrême variabilité spatio-temporelle.*

*Au cours des 20 dernières années, de nombreuses évolutions sédimentaires sont observées entre Dieppe et Criel-sur-Mer. Elles concernent la répartition de la couverture sableuse et des variations de taille et d'envasement des sédiments (près de la côte), en amont comme en aval de la centrale.*

*Après une période 1988 – 2000 caractérisée par une tendance à l'extension des surfaces sableuses (plus marquée entre 1988 et 1992 qu'entre 1992 et 2000), ces dernières se sont fortement réduites en 2004, avec la prédominance en surface de sédiments grossiers ridés. Cette tendance s'est ensuite inversée entre 2004 et 2008.*

*Malgré l'absence de levé bathymétrique fin lors des différentes missions, ces inversions de tendance s'accordent bien avec l'évolution faible des fonds du secteur, qui atteint au maximum 1 mètre entre 1835 et 1989 (Augris et al, 2004).*

*La comparaison des échantillons prélevés a quant à elle montré des variations granulométriques complexes, en raison de l'hétérogénéité et de la faible épaisseur du stock sédimentaire.*

*Les évolutions constatées en domaine subtidal s'expliquent pour l'essentiel par des mécanismes naturels :*

- *la morphologie du substrat crayeux, en particulier aux abords de Dieppe, où la craie sénonienne, plus dure, constitue un relief par rapport aux zones environnantes, sur lequel aucune couverture sableuse ne peut s'installer durablement. A l'inverse, les abords de Penly ont un substrat d'âge turonien, plus tendre car moins riche en silex, qui favorise un modelé en creux, dans lequel s'installe une couverture à dominante sableuse.*

*Ce facteur morphologique vient s'ajouter au facteur courantologique, marqué par une diminution de vitesse des courants de Dieppe vers Penly.*

- *comme dans l'ensemble de la Manche orientale, la zone de 6 à 10 m de profondeur est une zone d'énergie minimale, qui favorise la sédimentation de particules fines (sables fins parfois envasés). La particularité du secteur de Penly réside dans la présence d'amas caillouteux, accolés à l'abrupt rocheux de pied d'estran (Roches du Muron) ou dissociés de celui-ci (de part et d'autre de Penly), qui constituent des reliefs métriques.*

*Ces amas de galets résiduels, dont la stabilité dans le temps est une caractéristique du site, constituent un piège efficace pour les sédiments en transit, notamment les plus fins, transportés en suspension. Ceux-ci, abondants dans la zone, sont captés par les reliefs caillouteux, s'accumulent sur et entre les cailloutis, en période calme (absence de houle forte).*

*L'ensemble amas de galets et sédiment fin surimposé constitue un substrat riche et à morphologie irrégulière, favorable à l'implantation d'une faune benthique diversifiée, notamment des Lanices, mais ces amas peuvent aussi être soumis à l'action des houles les plus fortes, qui « lessivent » les composants les plus fins, et probablement une partie de la faune associée.*

*L'édification des « taches envasées » est donc lente, et peut se développer sur plusieurs années, alors que le démantèlement de l'accumulation sablo-vaseuse et de la faune associée peut être très rapide, à l'échelle d'une tempête plus forte, ou d'un coup de vent survenant à basse mer par exemple. Cet envasement, variable dans le temps et entre les différentes stations du même échantillonnage, touche à la fois les amas caillouteux et les sables fins situés principalement entre ceux-ci et la côte.*

▪ **L'influence météorologique** sur la structure verticale de la couverture sédimentaire meuble est nette. Plus au large, au-delà des très petits fonds, les houles peuvent aussi provoquer un remaniement des sédiments superficiels. Celui-ci se traduit en surface par la formation de rides de houle de courte longueur d'onde, d'extension pluri-kilométrique sur le site de Penly en 2004. Ces houles modifient aussi le classement vertical du sédiment.

De la même manière que le développement progressif de la couverture sableuse, et l'extension substantielle des mégarides de courant observée en 1996, ont été attribuées à un classement progressif sur la verticale des sédiments hétérogènes, en l'absence de violentes tempêtes, qui favoriserait l'apparition d'une couche superficielle de sédiments relativement fins et mieux triés qu'après de fortes tempêtes. Ces sédiments superficiels mieux classés faciliteraient alors, à leur tour, le développement graduel de mégarides.

La forte extension en 2004 de sables grossiers modelés par ces mégarides de houle, dans des fonds essentiellement sableux en 2000, est interprétée comme une destruction par la houle du classement vertical du sédiment, qui amène en surface des sédiments plus grossiers et hétérogènes, à teinte sombre sur les sonogrammes.

Cette modification des fonds est d'une ampleur équivalente au développement apparent de la couverture sableuse, qui avait prévalu de 1992 à 2000, mais n'est que temporaire. En 2008, ces sables grossiers ridés ne sont plus observés ; ils ont fait place à une couverture de sables moyens, qui traduit une restructuration verticale de la colonne sédimentaire.

A l'échelle régionale, la zone de Dieppe-Criel-sur-Mer est une zone de transition entre les fonds grossiers, à l'Ouest du Pays de Caux et les fonds sableux de Picardie et du Pas-de-Calais. La couverture sableuse y est assez continue, mais hétérogène, mal classée, généralement peu épaisse et soumise à de fortes fluctuations.

**Les deux principales incertitudes concernent l'influence des apports sédimentaires depuis l'Ouest, notamment les particules fines, et la part respective du classement vertical des sédiments et des apports depuis l'Ouest dans les variations observées.**

▪ **Problématique des particules fines** à l'échelle de la Seine-Maritime

Les sédiments sablo-vaseux, transitant naturellement ou provenant du dragage portuaire, sont importés dans le domaine côtier en quantité importante. Aux apports naturels de la Seine, s'ajoutent en effet :

- 23 millions de mètres cubes issus de l'entretien portuaire sur une quinzaine d'années
- 30 millions de mètres cubes provenant du creusement du port d'Antifer, dans les années 1970 ;
- 35 millions de mètres cubes provenant de l'érosion des falaises, pour la période 1965-1995;
- 30 millions de mètres cubes prévus à court terme, dans le cadre du programme « Port 2000 », qui seraient clapés à Octeville.

Les sédiments clapés au large ne restent pas sur place, mais on ne connaît pas précisément leur devenir au-delà de leur zone de rejet. Certains indices laissent supposer qu'ils ont une extension limitée en mer et ne se dispersent pas totalement dans le domaine marin, mais viennent se concentrer le long de la côte, dans les très petits fonds.

Au vu de l'extension en mer des fonds composés du type de sédiment rejeté (vases et sables fins), limitée à quelques tronçons des très petits fonds (en particulier Berneval - Criel-sur-Mer) et aux enceintes portuaires, ainsi que de l'absence de cette fraction sablo-

vaseuse dès que l'on s'éloigne de la côte, on peut s'interroger sur le devenir des sédiments clapés.

Au lieu d'une « dispersion sur une vaste zone » maintes fois évoquée dans la bibliographie, ces sédiments ne sont-ils pas progressivement « plaqués à la côte », comme le sont les sables entre Antifer et Ailly, lors de leur dérive vers le Nord-Est, par le jeu conjugué des houles de secteur Ouest à Nord-Ouest et des courants de marée ? Dès lors, ne leur est-il pas possible de se déposer dans les secteurs côtiers « favorables » ? Les zones potentielles d'accumulation des sables fins et des vases sont très limitées ; ce sont, d'une part, les très petits fonds (par exemple de part et d'autre de Dieppe où on sait que ces sédiments subissent encore des remaniements sur une courte période), d'autre part, les ports de Fécamp, Saint-Valéry-en-Caux, Dieppe, Le Tréport, ainsi que le chenal de la centrale EDF de Penly et la baie de Somme.

**La centrale de Penly subit l'influence de la dynamique sédimentaire marine :** le rythme des dépôts a été évalué, par différentiel bathymétrique, à plus de 70 000m<sup>3</sup>/an. Ces dépôts sont significativement plus importants en période hivernale (de l'ordre de 50% en moyenne annuelle) Les sédiments sont constitués de sables fins envasés.

En s'appuyant sur le site atelier de Dieppe-Le Tréport, où un retour vers la côte des sédiments rejetés au droit du port de Dieppe vers la centrale de Penly notamment est clairement envisagé, il paraît possible que le sédiment dragué au Havre, clapé à Octeville, se dépose ensuite à Antifer, Fécamp, Saint-Valéry-en-Caux, d'où il est ensuite extrait pour être à nouveau rejeté en mer...

Une évaluation des volumes susceptibles de « revenir à la côte » pourrait servir de base à une réflexion plus large sur la gestion des déblais de dragage, visant à limiter ce retour, et donc les coûts induits, même s'il est nécessaire d'augmenter le trajet entre le port et le point d'immersion.

▪ **Lien entre la présence en surface de sables moyens mobiles, sur l'alimentation des estrans, l'ensablement des ouvrages, et alimentation des bancs du Pas de Calais ?**

Le processus de structuration verticale des sédiments, dont l'hypothèse avait été émise à l'issue du levé de 2000 semble se confirmer et permet d'expliquer les variations rapides et inverses observées ultérieurement. Cependant, on ne connaît pas les effets précis de cette ségrégation, qui amène en surface un sédiment sableux mobile. Un coup de vent, en particulier de secteur ouest, survenant lorsque la fraction sableuse est bien développée sur le fond n'aurait-il pas pour effet, d'entraîner des volumes sableux non négligeables à la fois vers la côte, où ils pourraient à la fois contribuer à terme à l'alimentation des estrans, et à l'ensablement des ouvrages notamment portuaires, et vers le Nord, où il contribuerait à l'alimentation du système de bancs sableux du Pas-de-Calais ?

**L'impact de la centrale est un impact mécanique,** principalement lié à l'obstacle constitué par les ouvrages externes. La construction de la centrale a eu pour effet, outre l'impact mécanique lié à la construction du terre-plein et des ouvrages extérieurs, de bloquer les transferts sableux d'estran. De ce fait, les sédiments (galets et sable) se sont accumulés en amont de l'ouvrage, provoquant le développement d'un important cordon de galets en pied de falaise, et l'extension de la plage sableuse. Cette augmentation nette des volumes sédimentaires ne s'est pas accompagnée d'un changement de nature et de répartition des sédiments intertidaux ; les sables, voire les vases, étaient présents sur les estrans des abords de Penly avant la construction de la centrale (de même que les Lanice), avec un gradient granulométrique analogue au gradient actuel, mais les volumes sableux étaient en 1975 peu importants et assez peu épais, et probablement mobiles, et laissaient place localement à la dalle calcaire.

*Ce blocage des galets et des sables en amont des ouvrages s'accompagne d'un déficit à l'aval. Ce déficit sédimentaire est potentiellement un facteur d'accentuation de la vitesse de recul des falaises, plus intense à l'Est de Penly qu'à l'Ouest. En effet, le recul moyen est de 21 cm/an sur l'ensemble des falaises littorales de Seine-Maritime, de l'ordre de 20 cm/an entre Dieppe et Le Tréport, alors qu'il atteint 28 cm/an entre la centrale de Penly et Criel-sur-Mer, sur la période de 1966 à 1995.*

*La variabilité des vitesses de recul est liée, d'une part, à des variations lithologiques (résistance des craies à l'érosion) et d'autre part, à l'influence d'obstacles naturels (éboulements de falaises) ou anthropiques (épis et jetées). Ces obstacles induisent en aval une forte réduction du volume sédimentaire, favorisant les actions marines, et donc le recul des falaises (Costa, 1997, 2000, Costa et al., 2002, Augris et al., 2004).*





## **5 Le domaine benthique - Compartiment biologique**

*Luc Drévès (Ifremer – DOP-LER)*

*Chantal Abernot-Le Gac (Ifremer – DOP-LER-FBN)*



A la demande d'Électricité de France (EDF), le domaine côtier bordant le Pays de Caux, entre Dieppe et Le Tréport (département de la Seine-Maritime), fait l'objet de la part de l'Ifremer d'une attention particulière depuis une trentaine d'années.

En effet, dans le cadre des études de projet d'implantation de la centrale électronucléaire de Penly, puis du programme de surveillance lié à son fonctionnement (mise en service en 1990), différents paramètres des domaines halieutique et pélagique sont mesurés chaque année par les équipes de l'Institut dans la zone côtière des 3 milles entre ces deux ports. Les résultats sont publiés dans un rapport annuel adressé au commanditaire dans le courant du premier semestre de l'année suivante, à l'instar de 2009 (SCHLAICH et al, 2010).

Pour la surveillance du compartiment benthique, la spécificité de ce secteur côtier décrit lors des études de projet a conduit, d'une part, à n'étudier que le domaine sublittoral (la zone intertidale n'est pas échantillonnée), et, d'autre part, à une approche plus globale réalisée tous les quatre ans. Ces travaux ont déjà été cités dans les chapitres précédents du présent rapport.

## **5.1 Bilan des connaissances avant la mise en service de la centrale**

Ce bilan est établi à partir des quelques travaux spécifiques initiées par les deux études d'avant projet et de projet.

### **5.1.1 Etude écologique d'avant-projet sur le site de Penly, Pays de Caux<sup>11</sup>**

Un rapport d'avant-projet présente, par définition, la synthèse bibliographique des études concernant un site et son voisinage immédiat. Cette synthèse peut être complétée des résultats d'une étude de terrain ciblée sur un compartiment ou un paramètre particulier pour combler les lacunes existantes.

En 1975 (année au cours de laquelle le rapport a été réellement conçu), la bibliographie relative à l'écologie de la Côte de Haute-Normandie est très pauvre, comparée à celle d'autres zones côtières comme la Bretagne Nord par exemple. Cette étude d'avant-projet repose donc essentiellement sur la présentation des peuplements benthiques des zones intertidale (l'estran) et sublittorale (c'est à dire la partie sous-marine faisant immédiatement suite à l'estran).

#### **Peuplements de l'estran**

En complément de la description morpho-sédimentaire faite dans le chapitre précédent du présent rapport, il peut être précisé que l'estran est de type estran de pied de falaise, à savoir « *un platier rocheux, sur lequel les matériaux meubles ne se rencontrent généralement qu'en pied de falaise sous la forme d'un cordon de galets dépassant rarement 30 à 40 m. de large, et 2 à 3 m de hauteur* » (LIGNIOT & Al., 1972). D'autres dépôts de sédiments meubles se rencontrent sur cet estran, sous forme de minces placages de sable de quelques dizaines de cm d'épaisseur au maximum, et de surface variable.

<sup>11</sup> ANTOINE L., 1976.- *Etude écologique d'avant-projet sur le site de Penly, Pays de Caux. Rapp. CNEXO-Unité littoral, décembre 1976, 81 p.*

**Synthèse hydrobiologique du site du C.N.P.E. de Penly**  
**Chapitre 5 – Le domaine benthique – Compartiment biologique**

Les dépôts des particules en suspension, le déplacement des bancs de sable sur la dalle, rendent les fixations d'algues ou d'animaux difficiles, la friabilité du substrat calcaire étant déjà un handicap à toute vie fixée. La topographie de l'estran est peu accidentée, aussi les micro-falaises, chenaux, cuvettes, mares favorables au développement des communautés animales et végétales sont-elles rares ou absentes. Sur ce type d'estran comparable à un glacis à pente faible sans aucun accident de relief, PRECHEUR (1960) note « en règle générale aucune plante, seulement quelques coquillages ».

Le calendrier des campagnes sur le terrain est rappelé dans le tableau ci-dessous :

Zone	Dates	Préleveurs CNEXO		Analyseurs
Intertidale	1) 5-14 Juin 1975	Loic	ANTOINE	Louis CABIOCH
	2) 5-11 Août 1975	Jean-Yves	PIRIOU	Roscoff
	3) 22 novembre 1976	Bernard	SERET	
Sublittorale	Août 1975	Thomas	BELSHER	
		Loic	ANTOINE	
		Gérard	JOUAN	René GLAÇON
		Dominique	HAMON	Wimereux
		Jean-Yves	PIRIOU	

L'étude de prospection réalisée en juin et août 1975 a été faite sur trois radiales perpendiculaires à la falaise. Elles se situent, du sud-ouest vers le nord-est, devant (i) la valleuse de Berneval, (ii) la valleuse de Penly, et (iii) le blockhaus situé à 1000 m environ au nord-est de la seconde citée. Les prélèvements et les observations sont faits tous les 60 m, du haut d'estran à la laisse de basse mer par coefficient de marée de 110. La largeur de l'estran est, à ce coefficient, de 400 à 450 m.

Les résultats de cette étude à caractère ponctuel ne peuvent être quantitatifs. La zone intertidale n'ayant pas fait l'objet du programme de surveillance, les principales informations qualitatives obtenues sont présentées ci-après :

\* Radiale « Berneval »

Le pied de la falaise est protégé par un cordon de galets de 20 à 30 m de large, auquel succède un banc de sable propre s'étendant jusqu'à 100 à 120 m de la falaise. Ce sable moyen est peuplé de crustacés amphipodes *Haustorius arenarius* et des annélides polychètes errantes *Nerine cirratulus*, auxquels se joignent vers 100 m les polychètes *Nephtys caeca* et *Glycera convoluta*. Les polychètes sédentaires *Arenicola marina* y sont rares (moins de 10 ind./m<sup>2</sup>).

Au-delà de 120 m, la dalle apparaît couverte d'un vaste champ d'algues, à 80 % par des algues vertes *Enteromorpha sp*, 10 % par des algues brunes *Fucus serratus*, peuplement complété vers 200 m par les algues vertes *Ulva lactuca*. A noter la présence des polychètes errantes *Glycera convoluta* dans les placages de sable de faible épaisseur (5 à 10 cm).

Entre 250 m et 450 m, la raréfaction des algues laisse la dalle nue pouvant alors être colonisée par les polychètes *Polydora ciliata*, spionidés connus comme perceur d'huîtres. Les failles et les anfractuosités sont peuplées par *Lanice conchilega*. Les placages de sable permettent l'installation de l'amphipode *Marinogammarus marinus* et des annélides *Nephtys hombergii*.

En bas d'estran, l'envasement important laisse apparaître par endroit la dalle truffée de restes de trous de pholades et autres perforants.

\* Radiale « Penly »

Au niveau des cordons de blocs et galets longeant la falaise, les algues vertes du genre Entéromorphe couvrant le sommet et les côtes des blocs forment la seule couverture végétale. Sous ces blocs et galets en limite du sable, sont trouvés les crustacés isopode *Sphaeroma serratum* et amphipode *Melita palmata*.

Dans la bande de sable contiguë, le sédiment constitué de sables moyens d'une quinzaine de cm d'épaisseur contient quelques annélides polychètes *Arenicola marina*, à raison d'une dizaine maximum au m<sup>2</sup>.

A une soixantaine de mètres du pied de la falaise, la dalle calcaire apparente permet la fixation de crustacés cirripèdes *Semibalanus balanoides* et de mollusques gastéropodes *Patella vulgata*. Parfois, quelques pieds d'algues brunes *Fucus vesiculosus*, espacés et peu développés, ont un recouvrement pratiquement nul.

Vers une centaine de mètres, la moulière apparaît, surtout dans les anfractuosités et les diaclases. Les densités de 2000 individus par m<sup>2</sup> de *Mytilus edulis* de 2 cm de long peuvent être recensées.

En l'absence de moules, ces anfractuosités comblées de sable sont occupées par les annélides polychètes *Lanice conchilega*.

Vers deux cents mètres, un ensablement d'environ 25 % de la dalle calcaire permet la colonisation de polychètes *Glycera convoluta* et *Arenicola marina* sur les parties de sable propre d'épaisseur ne dépassant pas 10 cm, *Polydora ciliata* sur les parties envasées d'épaisseur moindre (2 à 3 cm).

Vers trois cents mètres, la couverture sableuse atteint 50 %. Sa nature plus fine et vaseuse convient bien à une colonisation de *Polydora ciliata*. La dalle calcaire est quant à elle trouée d'anciennes galeries de mollusques bivalves perforants (*Pholades* et autres).

Vers quatre cents mètres et au-delà, le sable, toujours en placage peu épais (10 à 20 cm), couvre près de 90 % de l'estran. Dans ce sédiment propre et pauvre, se trouvent des annélides polychètes *Glycera convoluta*, *Lumbrineris impatiens*, ...

\* Radiale « blockhaus »

Au pied de la falaise, les Entéromorphes couvrent en totalité certains blocs. La couverture végétale est complétée par de petits pieds de *Fucus vesiculosus* et *Fucus spiralis*.

Puis, entre 30 et 100 m, un placage de sable moyen de 20 à 25 cm permet l'installation d'un peuplement d'*Arenicola marina*, dont la densité peut atteindre de 20 à 50 individus par m<sup>2</sup>.

Entre 100 et 200 m, l'espace sableux est à nouveau occupé par un champ de blocs colonisés par quelques algues brunes *Fucus vesiculosus* et *Fucus serratus*, ou encore des algues vertes *Ulves* et *Entéromorphes*. Les mares à la base des blocs retiennent quelques crevettes grises (*Crangon crangon*). La fine couche (10 à 15 cm) de sable fin héberge des annélides polychètes errantes (*Nerine cirratulus*, *Nephtys caeca*, *Glycera convoluta*) et des lançons (*Ammodytes lancea*).

Vers 200 m, réapparaissent la dalle calcaire et un champ de blocs sur banc de sable. L'annélide *Polydora ciliata* couvre le sommet des blocs, ainsi qu'une bonne partie de la

dalle apparente dont les diaclases sont occupées par *Lanice conchilega*. Tous les blocs sont truffés de perforants (*Pholas* en particulier).

Cette radiale a fait l'objet d'une description complémentaire en novembre 1976, afin de préciser et quantifier ces observations estivales, plus particulièrement celles concernant le phytobenthos.

Zoobenthos : la présence des espèces notées en août 1975 est confirmée. La liste faunistique précédemment établie est enrichie des mollusques bivalves *Mytilus edulis*, et gastéropodes *Nucella lapillus* et *Lacuna vincta*, ainsi que du crustacé *Macropipus holsatus*. Sans être généralisables à l'ensemble de l'estran, quelques densités sont calculées : *Patella vulgata* (50 à 160 ind./m<sup>2</sup>), *Littorina littorea* (100 ind./m<sup>2</sup>), *Semibalanus balanoides* (110 000 à 140 000 ind./m<sup>2</sup>), *Mytilus edulis* (570 à 640 ind./m<sup>2</sup>).

Phytobenthos : Les travaux sur l'aire minima en développement à l'époque (Russel, 1972 ; Belsher, 1978) sont utilisés pour les relevés sur une surface de 0,25 m<sup>2</sup>. Ils permettent d'établir des recensements tant qualitatifs que quantitatifs, complétés de résultats de biomasse, en poids humide et en poids sec. Un résumé des résultats obtenus est présenté dans le tableau suivant :

De la falaise vers le zéro hydro	Espèces	Recouvrement en %	Poids humide g/m <sup>2</sup>	Poids sec g/m <sup>2</sup>
Supralittoral / Médiolittoral	<i>Rhizoclonium riparium</i>	05,00	-	-
	<i>Enteromorpha torta</i>	95,00	85,32	14,76
	<i>Gomontia polyrhiza</i>	00,05		
Médiolittoral	<i>Porphyra linearis</i>	02,00	0,75	0,05
	<i>Enteromorpha compressa</i>	30,00	313,00	49,12
	<i>Fucus spiralis</i>	30,00	688,32	104,28
Médiolittoral	<i>Ulva rigida</i>	01,00	-	-
	<i>Fucus vesiculosus</i>	50,00	2 040,00	464,80
Médiolittoral	<i>Ulva rigida</i>	05,00	12,80	-
	<i>Fucus serratus</i>	50,00	2 176,80	482,80
Médiolittoral / infralittoral	<i>Rhodothamniella floridula</i>	00,05	-	-
	<i>Ulva rigida</i>	70,00	49,40	9,76
Infralittoral	<i>Ulva rigida</i>	-	-	-
	<i>Rhodothamniella floridula</i>	-	-	-
	<i>Sphacelaria sp.</i>	-	-	-
	<i>Cladophora sp.</i>	-	-	-

Le recouvrement représente le pourcentage approximatif de la surface du substrat couverte en projection par l'espèce considérée. La végétation se disposant sur plusieurs strates, le recouvrement total d'un relevé est très généralement supérieur à 100 %. L'examen de ces recouvrements montre, d'une part la grande simplicité structurale, d'autre part la faible couverture algale de l'estran.

Les biomasses obtenues doivent être utilisées avec précaution, du fait même de la grande variabilité inter-annuelle, inter-saisonnière, sans oublier inter-mensuelle.

D'une façon générale, cette description qualitative de trois radiales de l'estran au droit de Berneval et Penly montre sa pauvreté tant spécifique que numérique. La couverture sableuse, peu épaisse, est peu peuplée. La couverture algale de la dalle est minime, contrastant avec les estrans au droit de Paluel où les fucales sont bien recensées.

Les conditions écologiques particulières qui règnent sur ce type d'estran (nature crayeuse du substrat, estran plat sans accident topographique, présence d'une mince couche de sable) ne favorisent pas la fixation et le développement des espèces benthiques.

A noter le rôle particulier de certaines espèces, comme les moules qui forment localement d'importantes moulières jouant un rôle dans l'équilibre entre l'engraissement et l'érosion de l'estran.

### **5.1.2 Étude écologique de projet sur le site de Penly, Pays de Caux**

En complément du rapport d'avant-projet se voulant, par définition, une synthèse bibliographique des études concernant un site et son voisinage immédiat, l'étude de projet comprend une actualisation des connaissances par l'acquisition de données nouvelles sur le site choisi. L'objectif est ici de réaliser un véritable état initial du site, un « point zéro » qui servira de référence et/ou de base à l'étude de surveillance mise en place pendant le fonctionnement de la future centrale.

L'étude de projet menée à Penly a donc consisté en l'acquisition de ces données nouvelles au cours de deux cycles successifs concernant les années 1978 et 1979, à les comparer entre elles ainsi qu'à celles collectées lors de l'étude d'avant-projet.

#### **5.1.2.1. Le zoobenthos intertidal<sup>12</sup>**

Pour ce compartiment concernant le zoobenthos intertidal, les objectifs ont été

- d'une part, de décrire une bande côtière plus étendue
- d'autre part, de cerner plus précisément, au niveau des deux secteurs de Penly et de Berneval, les facteurs limitant la répartition des espèces.

Ces objectifs ont été atteints en faisant appel à l'analyse de photographies aériennes, prises en août 1977 puis en septembre 1978, complétées par des observations sur le terrain en février et avril 1978, puis en septembre 1979.

Parmi les traits généraux du secteur, on retient que la largeur de la zone intertidale varie du sud-ouest vers le nord-est, de 250 m devant Dieppe, 500 m environ devant Penly et 400 m devant Criel. Le niveau de mi-marée, situé à + 4,97 m par rapport au zéro des cartes marines, correspond approximativement au pied de la falaise et au zéro NGF (nivellement général de la France).

Les trois niveaux bien caractéristiques de l'estran sont :

- le pied de falaise, localement fossilisé par des éboulis et protégé par un cordon de blocs et de galets ;
- la dalle calcaire apparaît au-delà, rainurée par endroits par des chenaux d'écoulement correspondant à des diaclases approfondies et élargies par l'érosion chimique, biologique et

<sup>12</sup> GUILLAUMONT B., HAMON D., LOARER R., 1983- Le zoobenthos intertidal. In Etude écologique de projet sur le site de Penly, Pays de Caux. Rapp. CNEXO-Unité littoral, janvier 1983, pp.7.1-7.30

mécanique, ou masquée par des blocs épars ou des bancs de sable, irréguliers tant en épaisseur qu'en superficie :

- en bas d'estran, un long banc de sable fin protégé des houles par une microfalaise de 2 à 3 m de hauteur interrompant la dalle calcaire au niveau des basses mers de vives eaux.

L'examen des photographies aériennes, concernant près de 14 km du littoral entre Criel sur Mer et val du Prêtre, permet de distinguer deux secteurs sur des critères morphologiques :

- De Criel sur Mer à Neuville, où l'estran est caractérisé par une dalle calcaire nue, striée de diaclases, parallèles et perpendiculaires au trait de côte.

De Neuville au Val du Prêtre, où la zone intertidale est en partie masquée par des éboulis pouvant occuper plus de la moitié de la largeur de l'estran et bloquant la migration d'ouest en est de placages sableux, généralement peu épais et instables, contrairement au long banc de sable fin positionné au niveau des basses mers de vives eaux.

Les analyses faunistiques se sont concentrées sur deux zones à proximité immédiate du site de Penly, à savoir La Tarte (Valleuse de Penly) et la valleuse de Berneval.

#### **\* « La Tarte (Valleuse de Penly) »**

Cette zone se situe à environ 1 km au nord-est de la Valleuse de Penly. Conformément aux descriptions faites précédemment, l'estran, du haut vers le bas, y présente une certaine zonation du pied de la falaise à la limite de la basse mer :

- un cordon de blocs calcaires et de galets de silex sur une faible largeur (20 m au maximum),
- ici et là de grands éboulis, vestiges d'éboulements plus ou moins récents de la falaise et pouvant s'étaler sur plus de 200 m,
- des accumulations de sables fins et de sablons entre ces éboulis,
- quelques résurgences saumâtres au niveau desquelles le sédiment peut présenter une légère couche réduite vers 10 à 15 cm de profondeur,
- dans la moitié inférieure de l'estran, apparition de la dalle calcaire couverte par endroit de fins placages de sables très mobiles,
- enfin, une structure tabulaire, de relief ovoïde, dit « la Tarte », sillonnée de micro-reliefs de l'ordre de la dizaine de cm.

Deux peuplements distincts y sont répertoriés :

- le peuplement des substrats durs

Les blocs et galets sont exempts de tout macrobenthos.

Les éboulis présentent, dans leur partie supérieure, un peuplement d'algues vertes du genre *Ulvale*. En périphérie, la couverture végétale est restreinte. Y sont associés quelques mollusques gastéropodes, principalement *Littorina littoralis*, ou encore *Patella vulgata*, ainsi que des crustacés cirripèdes *Semibalanus balanoides*, dominant à 75 %, et *Elminius modestus*. Sous les blocs, la faune est peu abondante (*Actinia equina*, *Lepidochiton cinereus*, *Carcinus maenas*).

Ces quelques et rares espèces sont également observées dans les cuvettes formées dans la dalle calcaire. Y est toutefois notée par endroits la prolifération de *Polydora ciliata*, espèce intervenant dans la dynamique de l'érosion en criblant la dalle calcaire et en piégeant les particules de vase.



Les micro-reliefs observés sur cette dalle permettent l'installation, d'une part dans sa partie supérieure, d'un peuplement d'algues brunes du genre *Fucalé*, *Fucus serratus* principalement, de faible densité et de faible étendue, d'autre part dans sa partie inférieure de moulières par la fixation de moules *Mytilus edulis*, favorisant le piégeage du sédiment.

Enfin, uniquement aux niveaux les plus bas, présence de mollusques perforants, en particulier *Zirphaea crispata*.

- le peuplement des substrats meubles

Dans les hauts niveaux, se rencontrent le peuplement caractéristique des sables fins bien oxygénés, composé essentiellement de crustacés amphipodes *Hautoriidae* (*Haustorius arenarius*, *Bathyporeia sarsi*). Ce peuplement présente une grande instabilité, tant qualitative que quantitative, comme en témoignent les observations faites en fin d'hiver 1978, puis en début d'automne suivant.

La présence des résurgences permet le développement d'une autre espèce de crustacé amphipode : *Urothoë poseidonis*. Quant aux placages de sables fins épars sur la dalle calcaire, soumis à des remaniements fréquents, ils ont une faune très appauvrie constituée principalement de polychètes.

Dans les sablons de bas niveaux, présence essentiellement d'annélides polychètes, ainsi que de la crevette grise *Crangon crangon*.

\* « La Valleuse de Berneval »

La zone étudiée en 1978 se situe entre le débouché de la valleuse proprement dite et le blockhaus situé dans son sud-ouest. La zonation du pied de la falaise à la limite de la basse mer, décrite précédemment se retrouve également ici, avec toutefois quelques particularités :

- le cordon au pied de la falaise n'est constitué uniquement que de galets de silex,
- l'extension des éboulis vers le niveau de basse mer s'accroît en allant vers le sud-ouest,
- une « vraie » plage de sable, de 50 à 100 m de large et une épaisseur supérieure à 25 cm, existe au droit même de la valleuse, dans la zone relativement abritée par le retrait de la ligne de rivage,
- en limite de basse mer de vives eaux, au lieu-dit « Le Fumechon », présence d'un banc de silex aux formes irrégulières.

Les peuplements décrits y sont très similaires à ceux mentionnés au niveau de la valleuse de Penly :

- le peuplement des substrats durs

Au niveau des éboulis, se retrouvent dans les mêmes proportions les deux espèces de crustacés cirripèdes. La différence se situe au niveau des algues qui présentent ici une biomasse plus élevée.

Au niveau des affleurements plus élevés de la dalle calcaire, le peuplement de Fucales est également plus important.

Au niveau de la basse mer, la roche est entièrement tapissée par une ascidie (*Molgula manhattensis*).

Enfin, le banc de silex permet l'installation d'une moulière, objet d'une pêche importante. La faune associée est similaire à celle notée au niveau des moulières de « La Tarte », avec cependant une diversité moindre du fait même de l'absence de fraction sableuse.

- le peuplement des substrats meubles

La faune de la plage est dominée, à 90 %, par les amphipodes *Haustoriidae*, avec des densités assez élevées et des variations saisonnières peu importantes. L'importance de ces amphipodes décroît vers les bas niveaux où la présence de sables fins dans les diaclases de la dalle sous-jacente permet l'installation de nombreux annélides polychètes, dont *Lanice conchilega* espèce sédentaire.

La zone intertidale s'étendant sur une distance de 3 à 4 km de part et d'autre de la valleuse de Penly se présente sous la forme d'une dalle calcaire masquée localement par de nombreux éboulis pouvant occuper la largeur de l'estran. Ces éboulis bloquent la migration du sud-ouest vers le nord-est des placages sableux. La mosaïque constituée par cette juxtaposition d'affleurements calcaires, de blocs et de sables héberge des peuplements animaux et végétaux pauvres en diversité et en quantité.

Les peuplements algaux se limitent à la présence d'algues vertes (ulves, entéromorphes) au sommet des éboulis, puis d'algues brunes (fucales) au niveau de la dalle calcaire.

Les représentants de la faune sont essentiellement des crustacés cirripèdes et des mollusques gastéropodes sur les substrats durs, des amphipodes *Hautoriidae* et des annélides polychètes dans les substrats meubles.

La conclusion de l'étude de projet sur la description des estrans de part et d'autre de Penly résume bien le bilan des observations : « *Malgré la diversité des milieux rencontrés, les résultats de cette étude confirment la relative pauvreté des unités de peuplements observées au cours de l'avant-projet. Seules les moulières bien développées sur cette portion de côte font exception* ».

### 5.1.2.2 Le phytobenthos intertidal<sup>13</sup>

Comme précisé dans le chapitre précédent, l'estran au droit de cette portion du Pays de Caux est pauvre en peuplements algaux. Pour préciser cet état, une étude spécifique ciblée sur ce compartiment a été menée entre 1979 et 1980. Elle fit appel, en complément des données obtenues par des observations *in situ* et des prélèvements analysés ultérieurement en laboratoire, à la télédétection, technique encore peu utilisée à cette époque pour décrire des peuplements algaux.

L'étude fut centrée sur la zone intertidale de Berneval, entre les lieux dits « Le Mât de Pavillon » et le « Fumechon », où trois principaux peuplements avaient été identifiés : Ulvales, Fucales, et hétérogène. Sous cette dénomination, sont regroupées des espèces gazonnantes et endolithes (Cyanophycées, Chrysophycées, ...) réparties très irrégulièrement, du peuplement à *Fucus serratus* aux plus bas niveaux découverts.

Les groupes systématiques concernés étaient les Rhodophycées (algues rouges), Phéophycées (algues brunes), Chlorophycées (algues vertes) et Bryopsidophycées.

Les premiers résultats obtenus ont trait au nombre d'espèces différentes identifiées : 55 ont été recensées entre avril 1978 et septembre 1980. Ce nombre traduit une **diversité spécifique algale faible**. Les Phéophycées et les Chlorophycées dominent, tant qualitativement que quantitativement. En relation avec ces résultats, les biomasses sont dans

<sup>13</sup> BELSHER T., CRASSOUS P., DREVES L., LE VERGE A., LOARER R., RUDELLE J., 1983- Le phytobenthos. *In* Etude écologique de projet sur le site de Penly, Pays de Caux. Rapp. CNEXO-Unité littoral, janvier 1983, pp.8.1-8.81

l'ensemble peu élevées, les valeurs les plus fortes concernant le peuplement de *Fucus serratus* (972 g/m<sup>2</sup> en 1979, pour 40 g/m<sup>2</sup> pour les Ulvales)

La mise en évidence de variations saisonnières marquées au sein du peuplement à Ulvales témoigne de son aspect éphémère. La majorité des espèces qui le constitue se développe généralement au printemps, puis disparaît en automne et en hiver, suivant ainsi un rythme saisonnier très marqué.

A l'inverse, *Fucus serratus*, espèce dominante du peuplement du même nom, est pérennante. Sa biomasse maximale est normalement atteinte en été. Aussi, les fluctuations annuelles prédominent elles par rapport aux fluctuations saisonnières.

Les principales conclusions de cette étude sur les peuplements algaux intertidaux au droit du secteur Penly-Berneval sont :

Une couverture algale éparse et peu fournie.

Une diversité spécifique faible.

La dominance quantitative des Phéophycées (Fucales) et des Chlorophycées (Ulvales)

Les deux premières conclusions pouvant trouver une explication dans la présence d'une falaise en recul constant, générant de nombreux éboulis sur un estran dominé par le calcaire et soumis à des remaniements fréquents, autant de facteurs peu favorables à l'installation de peuplements exubérants et bien différenciés, ainsi qu'à leur développement.

L'amplitude des variations naturelles des peuplements algaux était à l'époque encore mal connue. L'intérêt, s'il ne fallait n'en retenir qu'un, de cette étude menée dans les années 1978-1980 fut de proposer une méthodologie originale pour apprécier cette amplitude.

### 5.1.2.3 Le zoobenthos sublittoral, tel que connu en 1980<sup>14</sup>

Les études qui ont permis d'établir la distribution des peuplements benthiques en Manche orientale, du Cap d'Antifer à la Baie de Somme datent des années 1977 (Cabioch & Glaçon, 1977). Les travaux de ces deux auteurs ont permis de replacer les résultats obtenus précédemment dans un cadre régional et de confirmer l'importance de la zone située à proximité immédiate de la côte. La grande majorité de ces études repose sur des prélèvements semi-quantitatifs réalisés à la drague Rallier du Baty ; ces prélèvements sont moins précis que les échantillonnages qualitatifs effectués à la benne Smith & Mac Intyre, ou à la benne Hamon.

<sup>14</sup> GUILLAUMONT B., HAMON D., DREVES L., 1983- Le zoobenthos sublittoral. In Etude écologique de projet sur le site de Penly, Pays de Caux. Rapp. CNEXO-Unité littoral, janvier 1983, pp.9.1-9.47

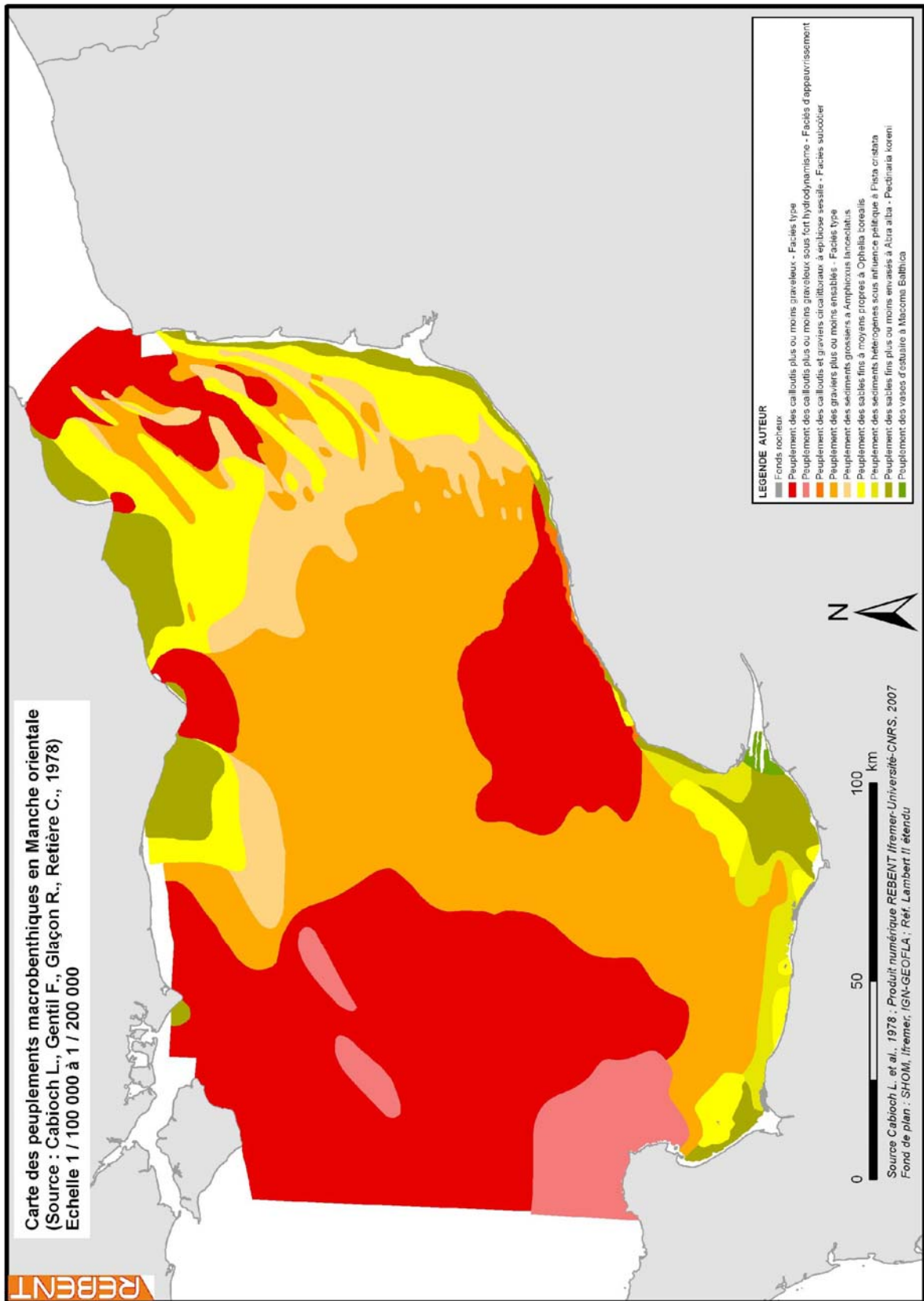


Figure 5.1 : Carte des peuplements benthiques en Manche orientale - Cabioch, Gentil, Glaçon, Rétière, 1978 (Numérisation REBENT)

Les études d'Avant-Projet (en 1976) et de Projet (en 1980) menées par le CNEXO, ont permis de compléter et préciser cette cartographie des peuplements entre Dieppe et le Tréport.

Les principales biocénoses subtidales, sur la façade normande, dans un ordre hydrodynamique décroissant sont les suivantes (Dauvin 1997) :

- Le **peuplement des fonds caillouto-graveleux à épifaune sessile**, caractéristique des zones de forts courants. On le rencontre au large du Pays de Caux, à des profondeurs de 20 à 50 mètres.
- Le **peuplement des sables grossiers à *Amphioxus lanceolatus* (*Branchiostoma lanceolatum*)**, dans des sédiments continuellement remaniés en surface par les courants. Ce peuplement se rencontre généralement au large, mais il peut se prolonger en zone côtière où il assure la transition avec le peuplement des sables moyens propres.
- Le **peuplement de sables fins à moyens propres dunaires à *Ophelia borealis***, est caractéristique des zones d'atténuation des courants, situé également au large, mais à plus faibles profondeurs (10 à 20 mètres). Sa pleine extension se situe vers l'embouchure de la Somme.
- Le **peuplement des sables très fins à fins plus ou moins envasés à *Abra alba*** avec différents faciès selon l'envasement. Ce peuplement est localisé le long de la zone côtière et la profondeur des fonds sur lesquels il est établi excède rarement 10 mètres. Ce peuplement se caractérise par une grande richesse spécifique, en diversité et en densité. Les mollusques bivalves, plus particulièrement *Abra alba*, et les polychètes sédentaires, dont *Lanice conchilega*, dominent dans les stations les plus proches du site.

Le second cycle de l'étude de projet (1979) a été mis à profit pour cerner les variations faunistiques éventuelles, en se focalisant sur un nombre restreint de stations, mais suivies aux mêmes périodes de mai et septembre 1978.

De même, une étude dynamique de la population d'*Abra alba*, prenant en compte notamment sa croissance et son cycle de reproduction, a été menée du fait de :

- l'importance numérique de cette espèce, d'une part au sein du peuplement, d'autre part dans la zone susceptible d'être la plus affectée par la future tâche thermique des rejets de la centrale ;
- son importance comme source de nourriture pour les poissons benthiques ;
- l'intérêt suscité par cette espèce dans ces années auprès de la communauté scientifique européenne.

Cette étude dynamique de la population d'*Abra alba* a conduit à un déséquilibre de prospection, en faveur de son peuplement par rapport à celui à *Amphioxus lanceolatus*.

Les prélèvements sont réalisés à la benne Smith-Mac-Intyre, à raison de dix échantillons par station, soit une surface prospectée d'1 m<sup>2</sup>. Les prélèvements sont tamisés sur maille carrée de 1 mm ; le refus de tamis est fixé au formol 5 % en perspective de son tri ultérieur au laboratoire. La détermination est faite au niveau spécifique ; le nombre d'individus est établi par espèce.

Ces données ont été complétées par des évaluations de biomasse, limitées cependant au regard de la lourdeur de la manipulation, à 4 campagnes. Elles ont été estimées par la mesure du poids sec des animaux regroupés par espèces ou par groupe d'espèces.

Les principaux résultats obtenus sont :

**- peuplement à *Amphioxus lanceolatus***

Le sédiment est constitué de sables fins à grossiers. La comparaison des analyses granulométriques réalisées en mai 1978 et mai 1979 présente des différences liées à des variations spatiales.

Le nombre d'espèces récoltées par campagne reste relativement constant. Les annélides polychètes et les crustacés dominent (70 % des espèces).

Les densités globales restent stables au cours des deux années, de l'ordre de 450 individus par m<sup>2</sup>.

La biomasse globale est nettement plus importante en 1979 qu'en 1978, notamment en mai. La différence tenant au bivalve *Ensis arcuatus*. Le groupe des mollusques bivalves représente en moyenne 60 % de la biomasse globale.

Les caractéristiques de ce peuplement diffèrent notablement de celles du peuplement à *Amphioxus lanceolatus* décrit par Cabioch et al lors de l'étude préliminaire. Une grande part de ces différences tenant à l'emploi de techniques différentes : benne au lieu de drague, tamisage sur 1mm au lieu de 2 mm, expliquant l'augmentation de la diversité spécifique et de la densité globale. Cependant, dans la composition spécifique apparaissent de manière constante des espèces notées par Cabioch comme caractéristique du peuplement à *Ophelia borealis* (*Ophelia borealis*, *Spisula ovalis*). Ceci peut se comprendre par la localisation de la station prélevée et par le fait que les peuplements à *Amphioxus lanceolatus* et *Ophelia borealis*, étant ici à leur limite ouest de distribution, ne se rencontrent pas sous leur forme la plus pure.

**- peuplement à *Abra alba***

Le substrat est composé de sables fins bien classés. La différence observée entre les deux années est plus le fait d'une hétérogénéité spatiale que d'une évolution temporelle. Cabioch et al signalent déjà en 1976 que dans ce secteur la couche des sédiments fins hébergeant le peuplement est parfois suffisamment mince pour laisser affleurer les cailloutis sous-jacents. Les observations de terrain accumulées au cours des neuf campagnes de prélèvements font apparaître une hétérogénéité très marquée dans la composition sédimentaire du fond.

Les polychètes sédentaires, avec notamment *Lanice conchilega* et les mollusques bivalves avec *Abra alba* dominent largement.

Les polychètes errants et les polychètes sédentaires montrent une évolution dans le temps globalement semblable.

*Abra alba* et *Tellina fabula* ont une évolution strictement opposée, la densité de *Abra alba* restant cependant toujours supérieure.

*Montacuta ferruginosa*, commensal commun de *Echinocardium cordatum* est parfaitement corrélé à cette dernière.

La majorité des espèces montrent un minimum de densité en période estivale, ce fait est vérifié aussi bien en 1978 qu'en 1979.

A la station 13, située à la côte à environ un mile à l'est de la centrale, la valeur de la biomasse est nettement plus élevée en 1979 qu'en 1978, principalement en mai, alors que la

densité globale a tendance à décliner légèrement en 1979. La raison tient à un recrutement particulièrement bon en 1978 pour bon nombre d'espèces notamment *Lanice conchilega*. En septembre 1978 il s'agit de jeunes individus que l'on retrouve en pleine croissance en mai 1979, d'où cette augmentation de la biomasse.

Quoiqu'il en soit, la biomasse globale reste toujours très élevée.

#### **- Etude dynamique de *Abra alba***

Lors de chaque échantillonnage, un lot est mesuré suivant l'axe antéro-postérieur des coquilles. Les mesures sont effectuées au micromètre oculaire, avec une précision de l'ordre de 0,1 mm.

La croissance est maximale au printemps et en début d'été. Elle est beaucoup plus faible en 1979 qu'en 1978. La taille maximale observée est de 20,9 mm. Les mâles et les femelles ne semblent pas présenter de différences de taille.

Le taux de mortalité est élevé, la durée moyenne de vie d'une cohorte est particulièrement courte, de l'ordre de 18 mois.

Concernant l'étude de la reproduction, dans chaque échantillon, une trentaine d'individus font l'objet d'une observation macroscopique détaillée de la gonade et d'une analyse au microscope d'un fragment prélevé généralement au niveau du pied.

L'espèce est gonochorique, la gonade femelle a une apparence granuleuse, celle des mâles est plus lisse et présente un aspect réticulé.

Les observations de la gonade ont été classées en différents stades, de 0 à 2b, en fonction de sa maturation.

L'étude dynamique du bivalve *Abra alba*, qui constitue à la côte en moyenne 30 % des individus et de la biomasse, a permis d'enregistrer des fluctuations importantes entre 1978 et 1979. En 1978, deux pontes sont observées, en printemps été et en automne. Cette dernière conduit à un recrutement massif visible au printemps suivant. En 1979, la ponte s'est effectuée de manière fractionnée en été automne, elle est suivie d'une période de repos sexuel (novembre à février). Le recrutement apparaît au cours de l'hiver 1980.

L'instabilité du peuplement à *Abra alba* a souvent été soulignée et différentes origines ont été évoquées pour expliquer ces fluctuations :

- Variation au niveau de la reproduction (Peterson, 1918 – Boysen-Jensen, 1919),
- conditions instables de l'environnement physico-chimique (Margalef, 1968 – Sanders, 1969 in Eagle, 1975),
- « Trophic Group Amensalism » dont l'idée, introduite par Rhoads, et Young, (1970), tend à montrer que les dépositivores par leur activité peuvent réduire la stabilité de l'habitat amenant une faible diversité, une répartition en tâches par classes d'âge et l'alternance des espèces dominantes. Les travaux de Eagle (1975), réalisés en baie de Liverpool, montrent que *Pectinaria koreni* et *Abra alba* (dépositivores) remanient en permanence le sédiment rendu de fait instable et empêchent d'autres recrutements.

A la suite d'une tempête, le milieu peut être recolonisé par toute espèce susceptible d'être recrutée, mais seuls *Lanice conchilega*, *Pectinaria koreni* et *Abra alba* semblent capables d'exploiter au maximum ces conditions. Elles constituent les espèces les plus communes de remplacement. Lorsque *Lanice conchilega*, domine, la diversification est évidente. Il y a dépôt de particules fines et de matériel organique qui rend à nouveau la surface utilisable pour des dépositivores. L'auteur souligne également le rôle que pourraient jouer les poissons plats (soles, plies, limandes) dans l'instabilité du sédiment.

Ce bref aperçu sur la dynamique du peuplement à *Abra alba* souligne l'importance des variations pluriannuelles et la complexité des éléments en jeu.

La prédominance de la biomasse des filtreurs suspensivores et dépositivores par rapport aux prédateurs est un des éléments qui caractérise le mieux le benthos de ce site. Les filtreurs sont particulièrement nombreux à la côte où la teneur en matières en suspension et la production primaire sont plus élevées qu'au large. La biomasse zooplanctonique y est à l'inverse moins forte. La comparaison entre les deux cycles d'étude ne fait pas apparaître de grandes modifications en ce qui concerne l'ensemble des peuplements, si ce n'est une augmentation générale de la biomasse consécutive à un bon recrutement en 1978 pour un certain nombre d'espèces.

### **5.1.3 Données complémentaires sur le zoobenthos, en 1988<sup>15</sup>**

Avec le démarrage du programme de surveillance, l'étude du zoobenthos se fait, dès la campagne de 1988, avec une approche innovante à l'époque, et banalisée vingt ans après. Le protocole d'étude est basé sur :

- une périodicité d'observations quadriennales, préférée à un rythme annuel ;
- la mise en oeuvre de deux techniques complémentaires permettant la réalisation d'une étude biomorphosédimentaire, à savoir :
  - le sonar à balayage latéral, couplé à un sondeur bathymétrique, permettant une cartographie en continu des fonds ;
  - les prélèvements à la benne, de type Hamon ou Van Veen, pour les analyses sédimentologiques et faunistiques. Plusieurs stations sont ainsi échantillonnées à la benne Hamon (préférée à la benne Smith-Mac-Intyre), à raison de deux réplicats par station, d'une surface unitaire de 0,125 m<sup>2</sup>. Les points de prélèvements sont répartis dans les différents faciès morpho-sédimentaires définis à partir de la mosaïque d'images « sonar ». Les prélèvements sont tamisés à bord (sur maille ronde de 2 mm) et les refus conditionnés dans une solution de formaldéhyde à 5 %. Ceux-ci sont retriés au laboratoire afin de séparer la faune du sédiment.

#### **Étude de la macrofaune**

##### Analyse taxonomique

Le niveau de détermination, dans la mesure du possible, est celui de l'espèce. Cependant pour certains individus en mauvais état, mal conservés, pas ou insuffisamment décrits, ce niveau ne peut être atteint. C'est le cas en particulier pour les Spongiaires, les Cnidaires et les Némertiens, des taxons très difficiles à identifier après avoir séjourné dans un fixateur. La liste faunistique réactualisée en référence à l'E.R.M.S. (European Register of Marine Species ; Costello et al. 2001) tient compte des re-descriptions pour certaines espèces.

Les espèces sont classées en 6 groupes trophiques distincts : carnivores, nécrophages, herbivores, détritivores, suspensivores et dépositivores et affectées d'un indice correspondant

---

<sup>15</sup> DREVES L., CLABAUT P., 1989.- Le domaine benthique. In : Surveillance écologique et halieutique de l'environnement marin du site de la centrale de Penly (Manche est), année 1988. ARZUL G. et al. Rapp. Ifremer DERO-EL/89-22, 1989, 45-133 + 2 cartes hors texte.



à leur appartenance aux différentes strates benthiques : 0 = endofaune, 1 = épifaune sessile, 2 = épifaune vagile.

### Biomasses

La biomasse est estimée par la méthode du poids sec libre de cendres (PSLC). Le poids de matière organique (M.O) s'obtient par différence entre le poids sec (après passage à l'étuve à 110° pendant 24 heures) et le poids de cendres (après passage au four à 400 °C pendant 4 heures).

Les mesures de biomasses sont réalisées par espèces ou par groupes taxo-trophiques, selon leur importance dans les prélèvements. Pour certaines espèces (*Mytilus edulis*, *Crepidula fornicata* et *Echinocardium cordatum*) la biomasse de l'ensemble des individus d'un même prélèvement est estimée à partir d'une fraction représentative.

La première campagne de cartographie morpho-sédimentaire et d'analyse faunistique est réalisée au printemps 1988 à bord du N/O THALIA (figure 1)

Le principal résultat de ce travail consiste en l'élaboration de deux documents :

- Un rapport présentant les travaux réalisés, les techniques utilisées, les principaux résultats, ainsi que leur interprétation en termes de dynamique.
- Une carte des formations superficielles à l'échelle de 1/10 000, sur laquelle sont également portées les traces anthropiques.

**Les résultats** acquis à la suite de cette prospection confirment ceux recueillis lors des études de projet :

Tout d'abord, les annélides polychètes et les bivalves dominent. Ces deux groupes rassemblent 87 % des individus recueillis sur l'ensemble de la zone. Les annélides polychètes (59 %), bien représentés dans la quasi totalité des points et les mollusques (28 %) composés presque exclusivement de bivalves. Ces données sont similaires à celles obtenues en 1978 malgré l'utilisation d'un engin de prélèvement différent (drague Rallier du Baty).

D'autre part, les trois peuplements décrits en 1978 se retrouvent, à savoir :

- **le peuplement à *Abra alba* des sables fins envasés littoraux**, caractérisé par sa richesse faunistique tant qualitative que quantitative, due notamment à la présence de *Lanice conchilega*.

En effet, l'examen de la répartition géographique quantitative des espèces ou groupes d'espèces dominants permet d'identifier une zone particulièrement riche localisée à l'est de la centrale à moins d'un mile de la côte. En trois points qui caractérisent cette zone, les densités atteignent 900 à 1 600 individus par m<sup>2</sup>. Leur composition faunistique est dominée par les mollusques bivalves, particulièrement *Abra alba*, et par les polychètes sédentaires, principalement *Lanice conchilega*, *Notomastus latericeus* et *Pectinaria koreni*.

Ce peuplement ne couvre que 10 % de la surface totale de la zone d'étude. Il se situe uniquement dans la frange côtière, entre les isobathes 8-12 m, sous forme de bandes ou de taches et contient les bouches de rejet de la centrale.

- **le peuplement à *Ophélia* des sables moyens, plus au large**. Les sables moyens à grossiers représentent 60 % de la superficie du domaine d'étude. Parmi les espèces inféodées à ces sédiments, les annélides polychètes du genre *Ophélia* dont les plus fortes densités sont notées dans les points des sables moyens, les amphipodes *Urothoe*

brevicornis et Urothoë poseidonis ainsi que les bivalves Tellina pygmaea et Tellina tenuis.

- **l'amorce du peuplement à *Amphioxus lanceolatus***, espèce caractéristique des sables grossiers. La zone d'étude étant peu étendue vers le large, ce céphalocordé n'est recensé qu'en 2 points.

## 5.2 Actualisation des connaissances depuis la mise en service de la centrale

Depuis la mise en service de la centrale, le domaine benthique subtidal a été prospecté au cours de six campagnes. Elles sont énumérées dans le tableau ci-dessous :

	1992	1993	1996	2000	2004	2008
	SONPEN	PYLAR	PYCAUX	PYCASO	CAUXSOM	BENCAUX
Nb Stations	24	21	33	31	26	22
Nombre de prélèvements de 0,125 m <sup>2</sup>	48	42	66	57	52	66
Nombre d'individus comptabilisés	10 060	7912	14 539	8 307	7761	7194
Nombre moyen d'individus par m <sup>2</sup>	419	<b>378</b>	<b>1 762</b>	1 081	1194	875

Le protocole appliqué reste le même que lors de la campagne de 1988 (chapitre précédent).

### 5.2.1 SONPEN – Mai 1992

Lors de cette campagne qui s'est déroulée du 4 au 10 mai 1992 à bord du N/O Thalia, 24 points de prélèvements ont été réalisés à la benne Hamon.

Les premières observations portent sur

- la grande variation de densité entre les prélèvements (12 à 2576 individus par m<sup>2</sup>)
- la dominance de deux groupes taxinomiques, les polychètes (29 %) et les mollusques (66 %), composés essentiellement de bivalves (95 % des individus).
- l'identification, d'une zone particulièrement riche, localisée au droit et à l'est de la centrale, à moins d'un mille de la côte entre les isobathes 5 et 10 m.

Deux peuplements principaux se distinguent dans cette étude, celui des sables fins plus ou moins envasés et celui des sables moyens à grossiers.

- **Le peuplement des sables fins plus ou moins envasés**

Ce peuplement commence au droit de la centrale et s'étend vers l'est. Il concerne 5 à 10 % de la zone étudiée et est caractérisé par le bivalve *Abra alba*.

Bien décrit par Cabioch (1977), puis confirmé et précisé lors des études antérieures d'avant projet, de projet, et lors de la campagne 88, quelques différences apparaissent toutefois dans sa composition :

- Augmentation de la densité totale, le nombre moyen d'individus passant de 562 en 1988 à 839 en 1992
- Importance accrue des mollusques tant en densité globale (178 individus par m<sup>2</sup> en 1988, 705 en 1992) qu'en pourcentage du peuplement (respectivement 32 % et 84 %)
- Diminution des annélides polychètes, tant en densité (323 individus par m<sup>2</sup> en 1988, 105 en 1992) qu'en pourcentage (57 % en 1988, 13 % en 1992).

Concernant les bivalves, les densités de *Abra alba* baissent de moitié (139 individus par m<sup>2</sup> en 1988 à 66 en 1992) alors que celles de *Tellina fabula* passent de 13 à 116 individus par m<sup>2</sup>. *Mysella bidentata*, non recensée en 1988, apparaît massivement atteignant une densité moyenne de 496 individus par m<sup>2</sup> (jusqu'à 2376 individus au m<sup>2</sup> à l'est de la centrale).

La baisse du nombre d'annélides polychètes affecte surtout les espèces sédentaires comme *Lanice conchilega* abondant lors des études antérieures (143 individus par m<sup>2</sup> en 1988) et pratiquement absent en 1992, *Notomastus latericeus* (51 individus par m<sup>2</sup> en 1988 à 11 en 1992) et *Pectinaria koreni* (17 individus par m<sup>2</sup> en 1988, absent en 1992).

L'augmentation quantitative du peuplement des sables fins plus ou moins envasés, due à la présence massive de *Mysella bidentata* masque la disparition de *Lanice conchilega*, espèce caractéristique de la frange côtière près de la centrale. Des mouvements sédimentaires plus ou moins superficiels, mais cependant importants et récents (ensablement/désensablement), expliquent ce phénomène. En effet, la houle générée par certains coups de vent a une action importante de remaniement des fonds situés à faible profondeur. De ce fait, les annélides tubicoles sont désensablés et entraînés par le courant.

#### ● Le peuplement des sables moyens à grossiers

Ce peuplement se répartit sur 60 % de la zone étudiée. Il s'est enrichi, passant pour les sables moyens de 116 individus par m<sup>2</sup> en 1988 à 146 en 1992, et surtout de 110 à 465 individus par m<sup>2</sup> pour les sables grossiers.

Les annélides polychètes restent, dans ces sédiments, non seulement prépondérants mais augmentent. *Goniadella bobretzkii*, petite espèce non recensée en 1988, est l'espèce la mieux représentée. Par contre le genre *Ophélia*, caractéristique de ce peuplement, passe d'une vingtaine d'individus par m<sup>2</sup> en 1988 à seulement 2 individus en 1992 dans les sables tant moyens que grossiers.

Les mollusques présentent une certaine stabilité tant quantitative que qualitative, les sables grossiers étant toutefois plus riches que les sables moyens. Les espèces dominantes sont *Spisula sp* et surtout *Ensis arcuatus*.

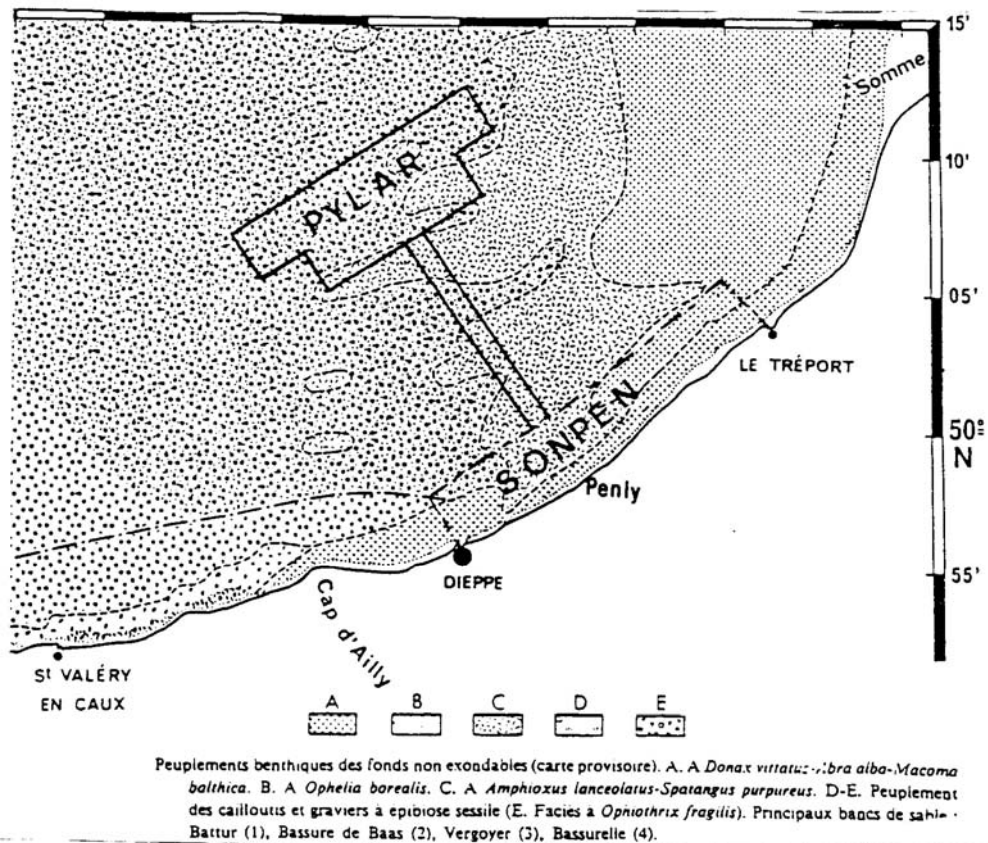
L'amorce du peuplement des sables grossiers à *Amphioxus lanceolatus* est confirmée vers le large par la présence de cette espèce au point 2 (4 individus par m<sup>2</sup>).

Une baisse sensible et générale des densités affecte **la faune des graviers et cailloutis**.

### 5.2.2 PYLAR – Mars 1993

La mission a été effectuée à bord du N/O Le Suroît du 10 au 15 mars 1993. La zone étudiée se situe entre 10 et 14 milles au large de Penly. Les prélèvements faunistiques ont été réalisés en 21 points à l'aide de la benne Hamon.

Le report de la zone prospectée dans le cadre du projet PYLAR sur la carte réalisée par L. Cabioch et R. Glaçon (1977) conduit à échantillonner les peuplements des sédiments grossiers à *Amphioxus lanceolatus* et le peuplement des cailloutis et graviers circalittoraux à épibiose sessile.



**Figure 5.2 : Distribution des peuplements benthiques en Manche orientale du cap d'Antifer à la baie de Somme d'après Cabioch et Glaçon (1977) avec limites des zones prospectées lors de SONPEN et de PYLAR**

La densité faunistique moyenne par prélèvement est faible (378 individus par m<sup>2</sup>) mais conforme à celle mentionnée pour le peuplement à *Amphioxus lanceolatus* dans ce secteur de Manche orientale.

Les 68 espèces isolées parmi les 94 taxons se répartissent principalement en 4 embranchements :

- les échinodermes (39 % de la densité totale moyenne) avec 8 espèces dont les oursins *Echinocyamus pusillus* et *Spatangus purpureus*, caractéristiques du peuplement des sables grossiers et l'ophiure *Ophiura albida*, espèce accompagnatrice
- les annélides polychètes (30 % de la densité), dont 15 espèces de polychètes errantes et 14 espèces de sédentaires. *Glycera lapidum* et *Notomastus latericeus* sont les deux espèces les plus présentes

- les mollusques (8 % de la densité) dominés par les bivalves tels que *Glycymeris glycymeris* et *Tellina crassa*
- les arthropodes (5 % de la densité) avec des amphipodes comme *Atylus vedlomensis* et des isopodes comme *Eurydice pulchra*

Le céphalocordé *Amphioxus lanceolatus* représente 17 % de la densité totale.

La partie centrale et côtière de la zone d'étude présente une densité et une diversité relativement plus importantes.

### **5.2.3 PYCAUX – Juillet 1996**

Les prélèvements ont concerné 33 points échantillonnés à la benne Hamon.

La densité moyenne est de 1762 individus par m<sup>2</sup>. C'est la valeur la plus forte observée de 1992 à 2008. Une grande variation des abondances entre les prélèvements est constatée. Au niveau des ridins de Neuville (point 14), les effectifs sont faibles (84 individus par m<sup>2</sup>). Ils sont beaucoup plus élevés au point 30 situé entre Dieppe et Berneval à proximité de la côte.

Le secteur le plus riche reste comme en 1988 et 1992, la zone située de part et d'autre de la centrale, à moins d'un mille de la côte entre les isobathes 5 et 10 mètres.

Comme en 1988, les bivalves, particulièrement *Abra alba* et les polychètes sédentaires, principalement *Lanice conchilega* dominant.

#### **• Le peuplement des sables fins plus ou moins envasés**

La densité, élevée (1900 individus par m<sup>2</sup>), est en hausse par rapport à 1988 et 1992. La variabilité entre les points est importante.

Les annélides polychètes, en augmentation par rapport à 1988 et 1992, dominant (700 individus par m<sup>2</sup>), en particulier les espèces sédentaires comme *Lanice conchilega* et *Sabellaria alveolata*. *Notomastus latericeus* reste comme en 1992 peu présent.

Les mollusques, autre groupe important de ce peuplement, avec 525 individus par m<sup>2</sup>, sont en baisse par rapport à 1992 et retrouvent une importance similaire à celle de 1988. *Abra alba* et *Tellina fabula* représentent à elles seules plus de 80 % de ce groupe. Les fluctuations des densités de mollusques enregistrées en 1988, 1992 et 1996 sont liées aux abondances irrégulières des bivalves, notamment de *Abra alba*.

*Abra alba*, caractéristique du peuplement est l'espèce la mieux représentée avec une densité moyenne de 217 individus par m<sup>2</sup> (139 individus par m<sup>2</sup> en 1988 et 66 en 1992). Les densités de *Tellina fabula* augmentent également. Par contre l'abondance de *Mysella bidentata* est en baisse.

#### **• Le peuplement des sables moyens à grossiers**

Ce peuplement, situé en face de la centrale, plus au large que le peuplement des sables fins, et aussi en zone côtière à l'est de la zone étudiée, représente 60 % de la surface étudiée.

Dans les sables moyens à grossiers, la densité moyenne est de 639 individus par m<sup>2</sup>, les fonds propres étant moins riches (166 individus par m<sup>2</sup>) que ceux envasés (1018 individus par m<sup>2</sup>). Les valeurs sont supérieures à celles enregistrées en 1988 (116 individus par m<sup>2</sup>) et 1992 (146 individus par m<sup>2</sup>).

La densité moyenne, 1262 individus par m<sup>2</sup>, en hausse par rapport à 1988 et 1992 (respectivement 110 et 465), est supérieure dans les sédiments grossiers graveleux et les graviers.

Les polychètes dominant, indépendamment de la nature précise du sédiment (la diversité spécifique est cependant moindre que dans les sables fins). Le genre *Goniadella sp* est bien représenté. Le pourcentage de mollusques augmente au détriment des polychètes. L'espèce *Abra alba* est bien représentée dans les deux catégories de sable où est également notée la présence de *Ensis arcuatus* et de *Spisula ovalis*.

Présence de *Amphioxus lanceolatus* caractéristique du peuplement des sables grossiers situés plus au large.

« Réapparition » de *Crepidula fornicata* (4 individus par m<sup>2</sup>) à l'ouest et à l'est de la zone étudiée. Cette espèce a été mentionnée dans l'étude d'avant-projet. Elle est présente dans la liste systématique de la faune sublittorale de Penly composée à partir des résultats des prélèvements réalisés en 1975.

#### ● Le peuplement des cailloutis

L'épifaune sessile, dominée par les tuniciers *Molgula manhattensis* et les cirripèdes *Balanus crenatus*, représente 70 % du peuplement des cailloutis. L'envasement est un frein à la fixation et au développement de cette épifaune.

Les annélides polychètes, diversifiés, sont aussi bien représentés. *Lanice conchilega* et *Pectinaria koreni* dominant. Les mollusques, surtout représentés par *Abra alba* et *Modiolus sp*, sont moins nombreux et moins diversifiés.

#### ● Conclusion

Hausse générale des densités sur l'ensemble du domaine d'étude. L'abondance moyenne progresse de 264 individus par m<sup>2</sup> en 1988 à 419 en 1992 puis 1762 en 1996. Cette dernière valeur s'explique par l'évolution du peuplement côtier des sables fins connu pour présenter de très importantes fluctuations naturelles pluriannuelles.

La biocoenose est dominée par les polychètes tant en richesse spécifique qu'en abondance moyenne.

Prépondérance des détritivores, puis des suspensivores.

Importance des *Lanice conchilega* dans les différents types de sédiment. Même abondance dans les sables fins qu'en 1988.

### 5.2.4 PYCASO – Avril 2000

La mission Pycaso s'est déroulée du 16 au 25 avril 2000 à bord du N/O Thalia. Les prélèvements biologiques, réalisés à l'aide de la benne Hamon, ont été effectués en 31 points.

Comme lors des campagnes précédentes, un écart important entre les densités est observé : de 40 individus par m<sup>2</sup>, à l'ouest de la centrale dans la zone très côtière des sédiments envasés, à 8 344 individus par m<sup>2</sup> entre Dieppe et Berneval (1988 : de 28 à 1584 ; 1992 : 4 à 2576 ; 1996 : 84 à 10 040).

La densité moyenne atteint 1081 individus par m<sup>2</sup> (1762 en 1996). La richesse spécifique moyenne est de 14 espèces (30 en 1996). La biomasse moyenne s'élève à 26,5 g de matière organique par m<sup>2</sup> (19,7 g en 1996).

Au niveau de la richesse spécifique, les annélides polychètes dominant (48 %), suivis des mollusques (20 %) et des arthropodes (14 %).

Au niveau de l'abondance, les arthropodes dominant (56 %), puis les mollusques (22 %), exclusivement des bivalves, et les annélides (12 %).

Les annélides polychètes (12 %) et les mollusques (22 %), composés presque exclusivement de bivalves, représentent 34 % des individus.

Le secteur le plus riche reste, comme au cours des campagnes précédentes, la zone côtière située de part et d'autre de la centrale. Elle est dominée, comme en 1988 et 1996 par les mollusques bivalves (44 %), particulièrement *Abra alba*, et par les polychètes sédentaires (21 %), principalement *Lanice conchilega*.

● **Le peuplement des sables fins plus ou moins envasés**

La densité est faible, 307 individus par m<sup>2</sup>. Elle est la plus faible enregistrée depuis 1988 (562 individus ; 1992 : 839 ; 1996 : 1900).

Les mollusques dominent avec 114 individus par m<sup>2</sup> (37 % du peuplement). L'importance est similaire en 1988, 1996 et 2000. Parmi la seule espèce de gastéropodes et les cinq espèces de bivalves, *Abra alba* représente à elle seule 76 % des mollusques. Sa densité est légèrement supérieure à celle de 1992 mais reste faible comparée à celles de 1988 et 1996.

Les annélides représentent 33 % du peuplement. 10 % de polychètes errantes dominées par *Nephtys hombergii*, et 16 % de sédentaires représentées principalement par *Owenia fusiformis*. A noter les faibles effectifs des polychètes sédentaires *Lanice conchilega* et *Notomastus latericeus*. Les pectinaires *Pectinaria koreni* sont totalement absents des prélèvements comme en 1992.

Les Echinodermes (27 % du peuplement) sont dominés par une seule espèce, *Echinocardium cordatum*.

La comparaison avec les données acquises antérieurement illustre bien les fluctuations connues de ce peuplement.

Ainsi les importantes variations d'abondance de *Lanice conchilega* dans cette frange côtière entre Dieppe et le Tréport, notamment l'absence totale de cette espèce en 1992 et sa faible présence en 2000 s'expliquent par des fluctuations naturelles en lien avec le caractère hydrodynamiquement agité de cette zone.

● **Le peuplement des sables moyens à grossiers**

La densité moyenne est de 401 individus par m<sup>2</sup>, les sables moyens étant plus riches que les sables grossiers. Cette abondance moyenne est intermédiaire entre celles enregistrées entre 1988 (116), 1992 (146) et 1996 (639).

Les arthropodes sont prépondérants dans l'ensemble du peuplement.

L'importance des mollusques reste stable par rapport à 1996. L'espèce *Abra alba* représente plus de la moitié du groupe.

Le pourcentage d'annélides polychètes décroît.

Les polychètes sédentaires sont représentés par *Owenia fusiformis*, *Magelona papillicornis* et *Notomastus latericeus* au niveau des sables moyens. Au niveau des sables grossiers, *Lanice conchilega* (essentiellement juvéniles) et *Notomastus latericeus*. Le genre *Ophelia* reste peu abondant.

Concernant les polychètes errantes, *Nephtys cirrosa* et *Nephtys hombergii* dominent les sables tant moyens que grossiers.

La présence de *Amphioxus lanceolatus* est à mentionner.

Le gastéropode *Crepidula fornicata* est présent à raison de 44 individus par m<sup>2</sup> dans les sables moyens et de 2 individus par m<sup>2</sup>.

La biomasse moyenne de l'ensemble du peuplement n'est pas très élevée (16 g par m<sup>2</sup>). Elle est supérieure dans les sables moyens.

● **Le peuplement des cailloutis**

L'épifaune sessile représente 86 % du peuplement. Les cirripèdes *Balanus crenatus* dominant toujours. Les tuniciers *Molgula Manhattensis*, abondants en 1996 sont pratiquement inexistantes en 2000.

Hors épifaune sessile, la faune associée est dominée par les mollusques et les annélides.

Les espèces phares sont ici encore les polychètes sédentaires *Lanice conchilega*, les mollusques bivalves *Mytilus edulis* et *Abra alba*, et les gastéropodes *Crepidula fornicata*.

La biomasse moyenne de ce peuplement est de 45 g par m<sup>2</sup>.

### **5.2.5 CAUXSOM – Juin et juillet 2004**

Cette mission s'est déroulée du 27 juin au 8 juillet 2004, à bord du N/O Thalia. 27 points ont été échantillonnés à la benne Hamon.

La densité moyenne par m<sup>2</sup> atteint 1194 individus. Elle est pratiquement équivalente à celle enregistrée en 2000 (1081 individus par m<sup>2</sup>). La richesse spécifique moyenne est en hausse avec 23 espèces par station (14 en 2000). La biomasse moyenne, 25 g de matière organique par m<sup>2</sup>, est légèrement inférieure à celle de 2000, 26,5 g par m<sup>2</sup>.

Les annélides, les mollusques et les crustacés sont les mieux représentés.

Les carnivores, représentés par les annélides polychètes errantes essentiellement, dominent par rapport aux suspensivores, principalement des mollusques.

Comme précédemment, cette campagne a mis en évidence les disparités de densités, de richesse spécifique et de biomasse entre les différents points de prélèvements : la station la plus riche et abondante se situe au nord ouest de Dieppe (46 espèces, 11 720 individus par m<sup>2</sup>). Cette station se caractérise par une forte densité du gastéropode *Crepidula fornicata* et du crustacé *Balanus crenatus* ; la présence de crépidules favorise la diversification des niches (microhabitats) et accroît localement la diversité faunistique. La station la plus pauvre (12 espèces et 144 individus par m<sup>2</sup>) se trouve en zone côtière face à la centrale. L'essentiel de la biomasse est apporté par les macro espèces (crépidules, moules, échinodermes...).

Le polychète sédentaire *Lanice conchilega* est plus abondant qu'en 2000. Par contre, l'abondance du bivalve *Abra alba* est en diminution. Réapparition de *Pectinaria koreni*.

A partir de la matrice espèces/stations, la méthode de classification hiérarchique (CAH) et d'ordination (M.D.S) ont permis de définir 7 groupements de stations (figure 5. :

- **Stations de cailloutis à épifaune sessile**, à l'est et à l'ouest de la zone étudiée

Stations à forte richesse spécifique avec une épifaune sessile abondante, essentiellement représentée par les crustacés cirripèdes *Balanus crenatus*, des actinaias et des tuniciers ainsi que des annélides polychètes sédentaires comme *Pomatoceros triqueter*, *Sabellaria spinulosa* et la forme juvénile de *Lanice conchilega*. L'épifaune vagile est également abondante et surtout constituée de crustacés décapodes, en particulier de *Pisidia longicornis* dont l'abondance atteint 212 individus par m<sup>2</sup> dans un prélèvement réalisé au nord de Dieppe. Présence de macro espèces telles *Mytilus edulis* et *Crepidula fornicata*.

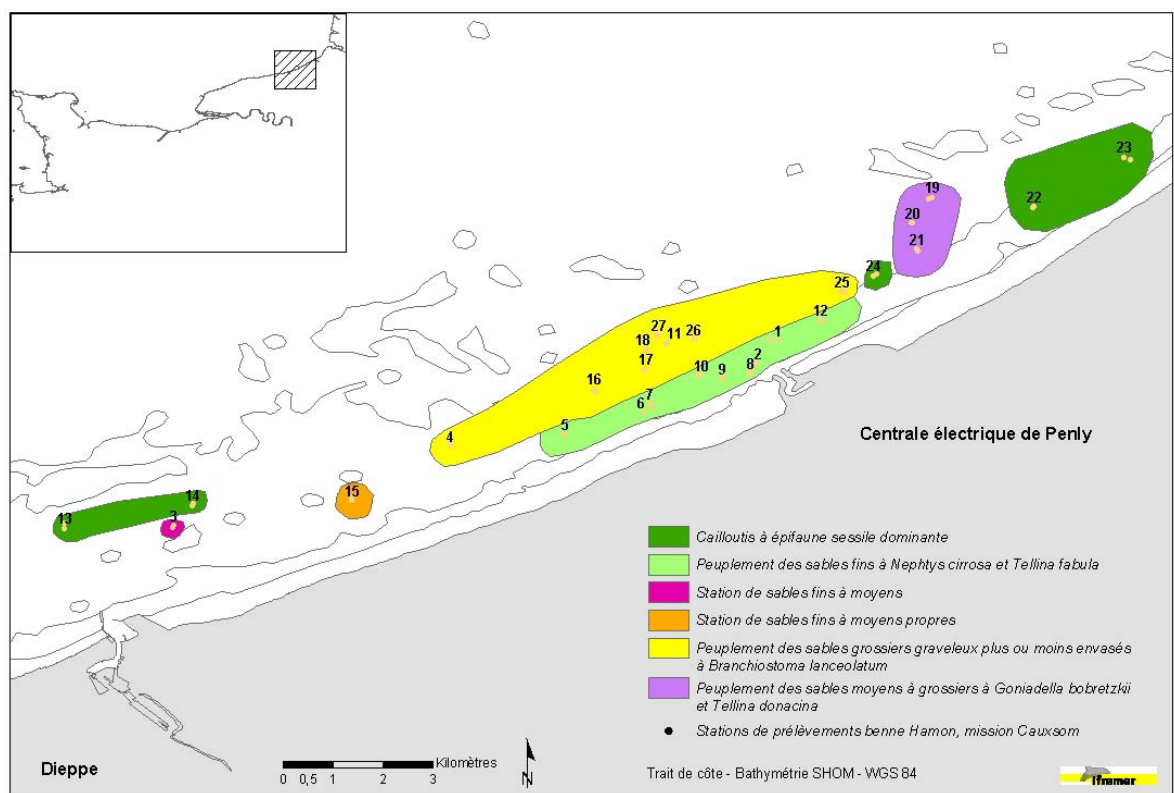


**- Stations des sables moyens à grossiers**

Situé dans la partie orientale, ce peuplement est représenté par les annélides polychètes errantes, *Nephtys cirrosa*, *Goniadella bobretzkii* et *Syllis atlantica*, les mollusques *Tellina donacina* et *Spisula ovalis*. L'endofaune y est majoritaire et 50 % des espèces sont des carnivores de petite taille.

**- Station de sables fins à moyens, et fraction caillouteuse**

Concerne une seule station située au large de Dieppe. Riche en terme d'espèces inventoriés, des annélides polychètes errantes : *Hesionura elongata*, *Goniadella bobretzkii* et *Ehlersia cornuta*, sédentaires : *Notomastus latericeus*, *Polycirrus medusa*, le céphalocordé *Branchiostoma lanceolatum* (synonyme de *Amphioxus lanceolatus*) ; le gastéropode *Crepidula fornicata*, le bivalve *Ensis arcuatus*. Mais assez pauvre en abondance si on exclut *Balanus crenatus*.



**Figure 5.3 : Carte de distribution des peuplements benthiques réalisée suite à la mission Cauxsom 2004**

**- Stations de sables grossiers graveleux**

A environ 1,5 km au large face à la centrale, sur une bande qui s'étend de Berneval à l'extrémité est de la centrale.

Sont représentés les annélides polychètes errantes telles que *Nephtys cirrosa*, *Goniadella bobretzkii*, *Glycera oxycephala*, sédentaires telles que *Ophelia borealis*, *Notomastus latericeus* et *Lanice conchilega*, le mollusque bivalve *Tellina donacina*. Présence du céphalocordé *Branchiostoma lanceolatum* dans les stations au sédiment plus grossier (mégarides au droit de la centrale de Penly).

L'abondance reste faible.

- **Stations de sables fins à moyens propres**

La faune est assez diversifiée mais peu abondante. Les principales espèces, *Nephtys cirrosa* et *Ophelia borealis*, bien que peu denses sont caractéristiques de ce type de sédiment.

- **Stations de sables fins**

Ces stations situées en zone côtière à proximité de la centrale, constituent un groupe très homogène tant du point de vue granulométrique que faunistique. Les espèces constantes de ce peuplement sont les annélides polychètes, *Nephtys cirrosa*, *Magelona johnstoni* et *filiformis*, et le bivalve *Tellina fabula*. L'endofaune est largement majoritaire et l'épifaune sessile inexistante.

- **Stations de sables hétérogènes**

Ce groupement de stations n'ayant ni unité granulométrique ni faunistique, les différentes stations le composant ont été apparentées, en fonction de leur fractions sédimentaires dominantes, aux groupes précédemment définis.

Quelques photographies prises sur l'estran de Penly, près de la centrale, pendant la mission Cauxsom :



*Pholas sp.*



*Lanice conchilega*



Bivalves



*Crepidula fornicata*

### 5.2.6 BENCAUX – Mai 2008

La dernière mission de surveillance du domaine benthique près de la centrale de Penly s'est déroulée à bord du N/O Thalia du 4 au 12 mai 2008. Les 66 prélèvements faunistiques ont été réalisés en 22 stations à l'aide de la benne Hamon.

7194 individus ont été comptabilisés au total. La densité moyenne, inférieure à celles enregistrées lors des trois dernières campagnes, atteint 875 individus par m<sup>2</sup>.

Cette diminution du nombre d'individus concerne surtout les bivalves et les annélides polychètes sédentaires.

La richesse spécifique reste stable. 167 taxons ont été répertoriés (171 en 2004). La diversité s'est accrue chez les crustacés décapodes et s'est appauvrie chez les annélides polychètes.

L'extension de la population de *Crepidula fornicata* se poursuit. Ce gastéropode est présent dans 13 stations (7 stations en 2000 et 2004) réparties sur toute la zone d'étude, de Dieppe à Criel (figure 5.4).

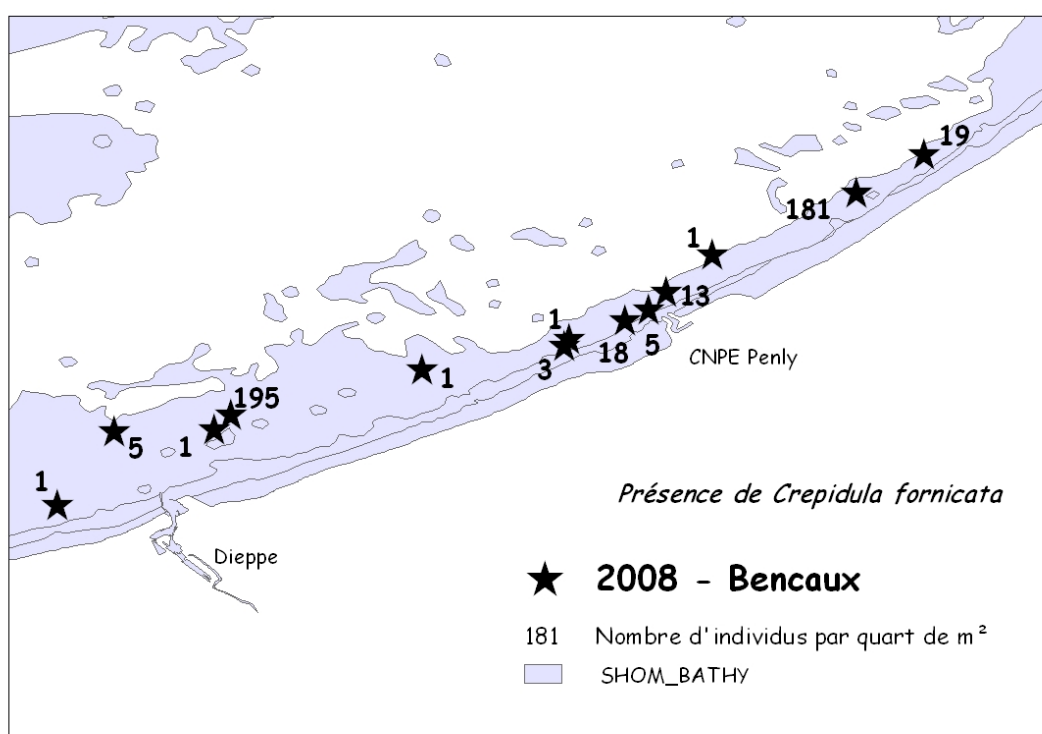


Figure 5.4 : Abondance de *Crepidula fornicata* en 2008, nombre d'individus par stations par quart de m<sup>2</sup>

Sa densité varie par station, de 1 à 780 individus par m<sup>2</sup>. Comme en 2004, les deux stations les plus riches en crépidules se situent d'une part au nord est de Dieppe (figure 5.5), et d'autre part dans le secteur oriental (figure 5.6). Absente en 2004, elle réapparaît en 2008 au droit de la centrale.

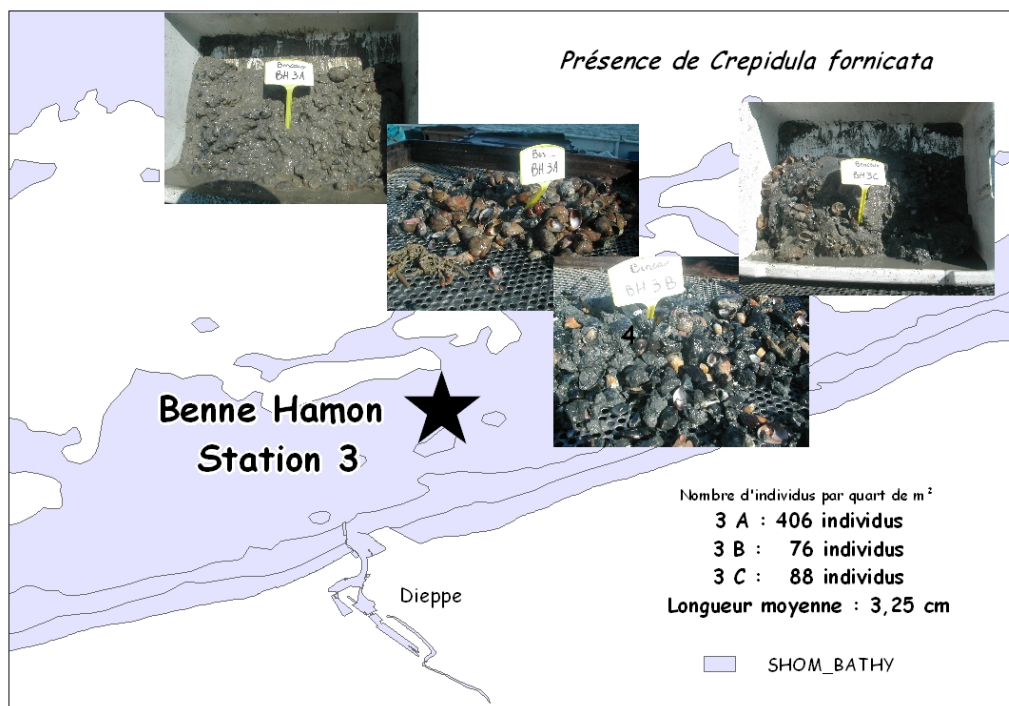


Figure 5.5 : Abondance de *Crepidula fornicata* à la station 3 (2008)

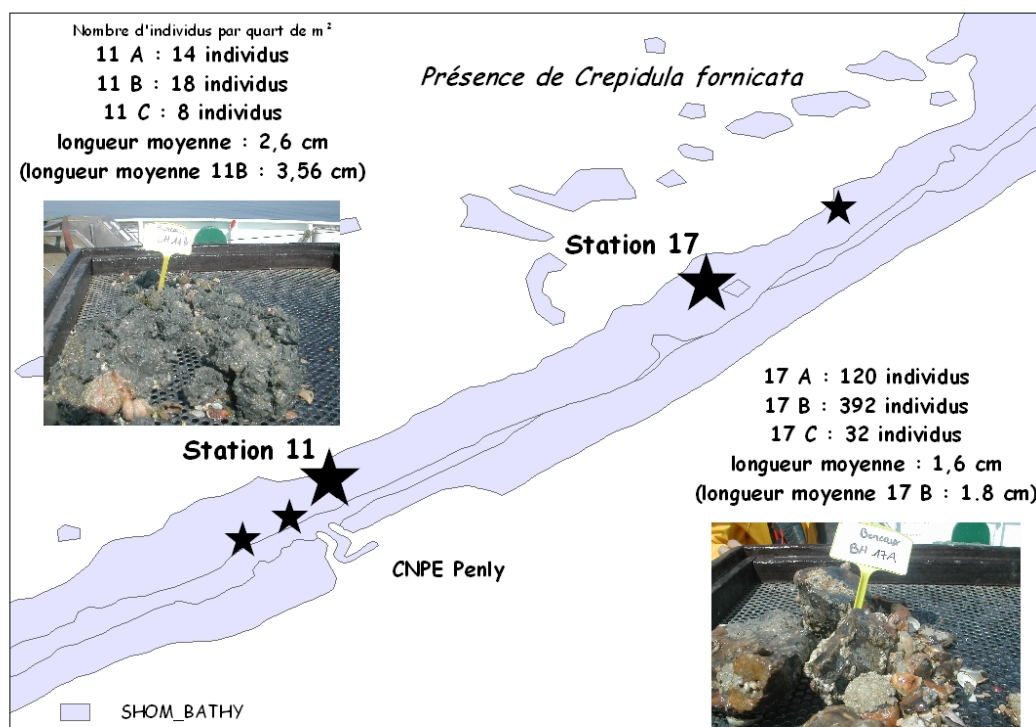


Figure 5.6 : Abondance de *Crepidula fornicata* aux stations 11 et 17 (2008)

### 5.2.7 Présentation des espèces caractéristiques

#### *Abra alba*,



est un petit mollusque bivalve (jusqu'à 25 mm de long) abondant dans les eaux atlantiques de l'Europe et en Méditerranée. Sa coquille est blanche et fragile. *Abra alba* peut être trouvé dans tous les types de sédiments. Cependant, l'espèce a tendance à préférer des sédiments fins (figures 5.8 et 5.9).

Bien présente dans le secteur étudié, en particulier dans la frange côtière à proximité de la centrale, elle est l'espèce caractéristique du peuplement des sables fins plus ou moins envasés (figures 5.8 à 5.10)

Relativement constante lors des trois dernières campagnes, son abondance varie depuis 1988 (hors mission Pylar qui s'est déroulée plus au large en dehors du peuplement des sables fins), ainsi elle est minimale en 1992 et maximale en 1996 (figure 5.7). Cette espèce présente des fluctuations quantitatives pluriannuelles très importantes (depuis plusieurs centaines d'individus par m<sup>2</sup> jusqu'à sa disparition complète).

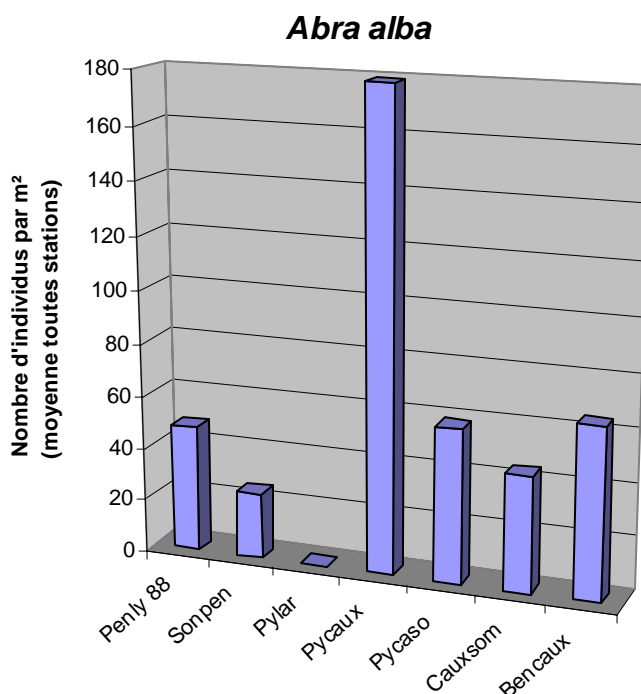


Figure 5.7 : *Abra alba*, densités moyennes par m<sup>2</sup> de 1988 à 2008

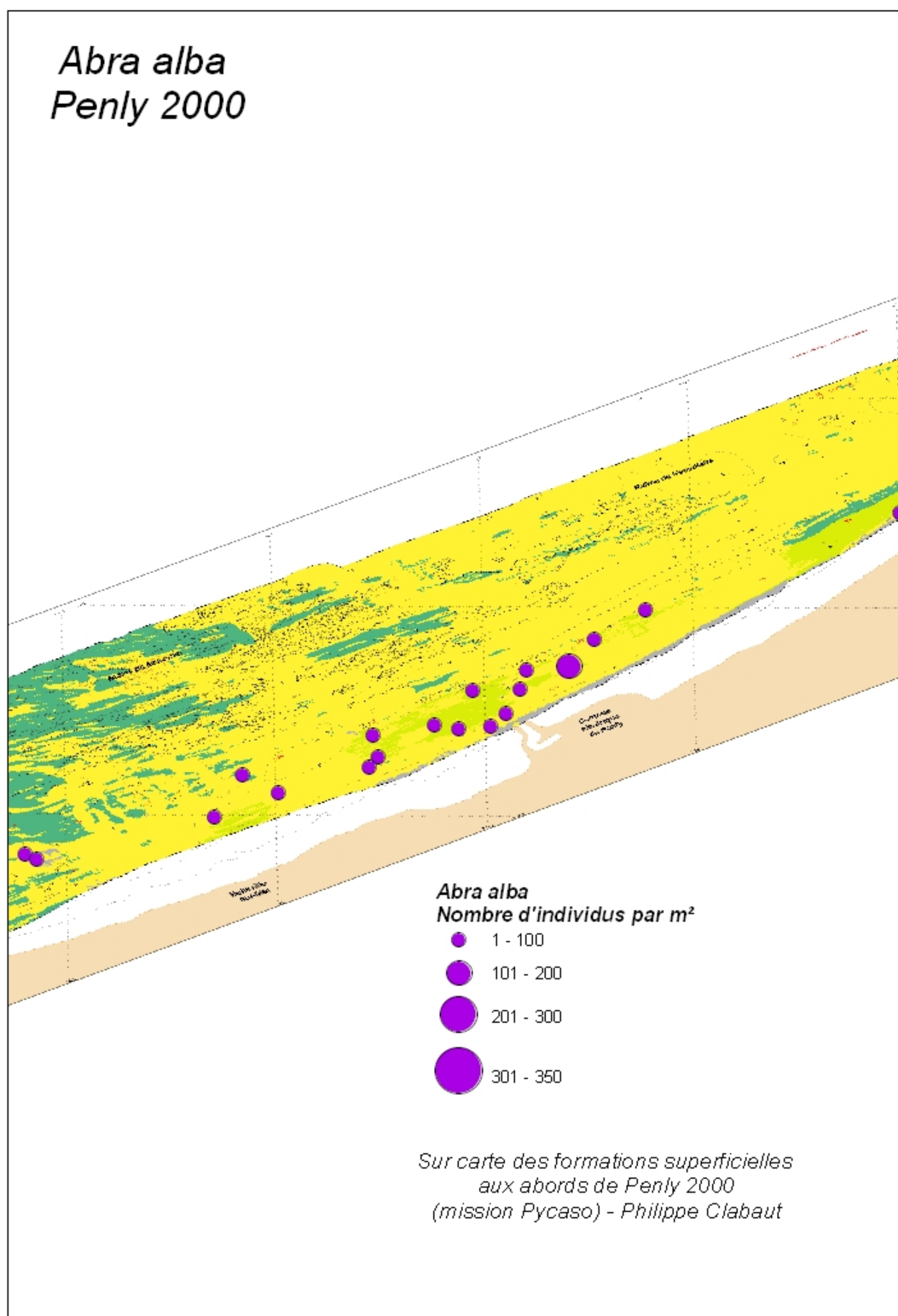


Figure 5.8 : Répartition de *Abra alba* en 2000

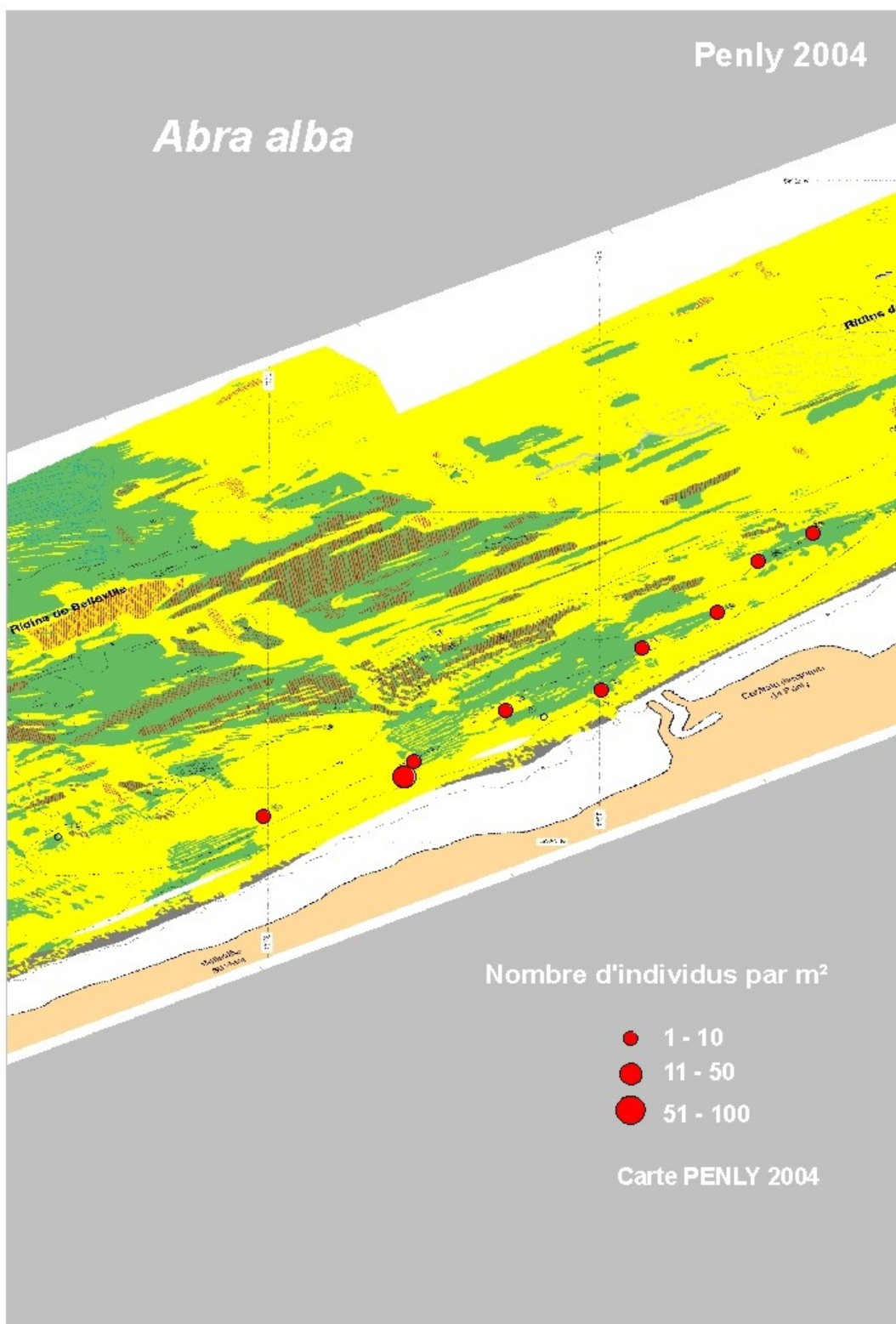


Figure 5.9 : Répartition de *Abra alba* en 2004

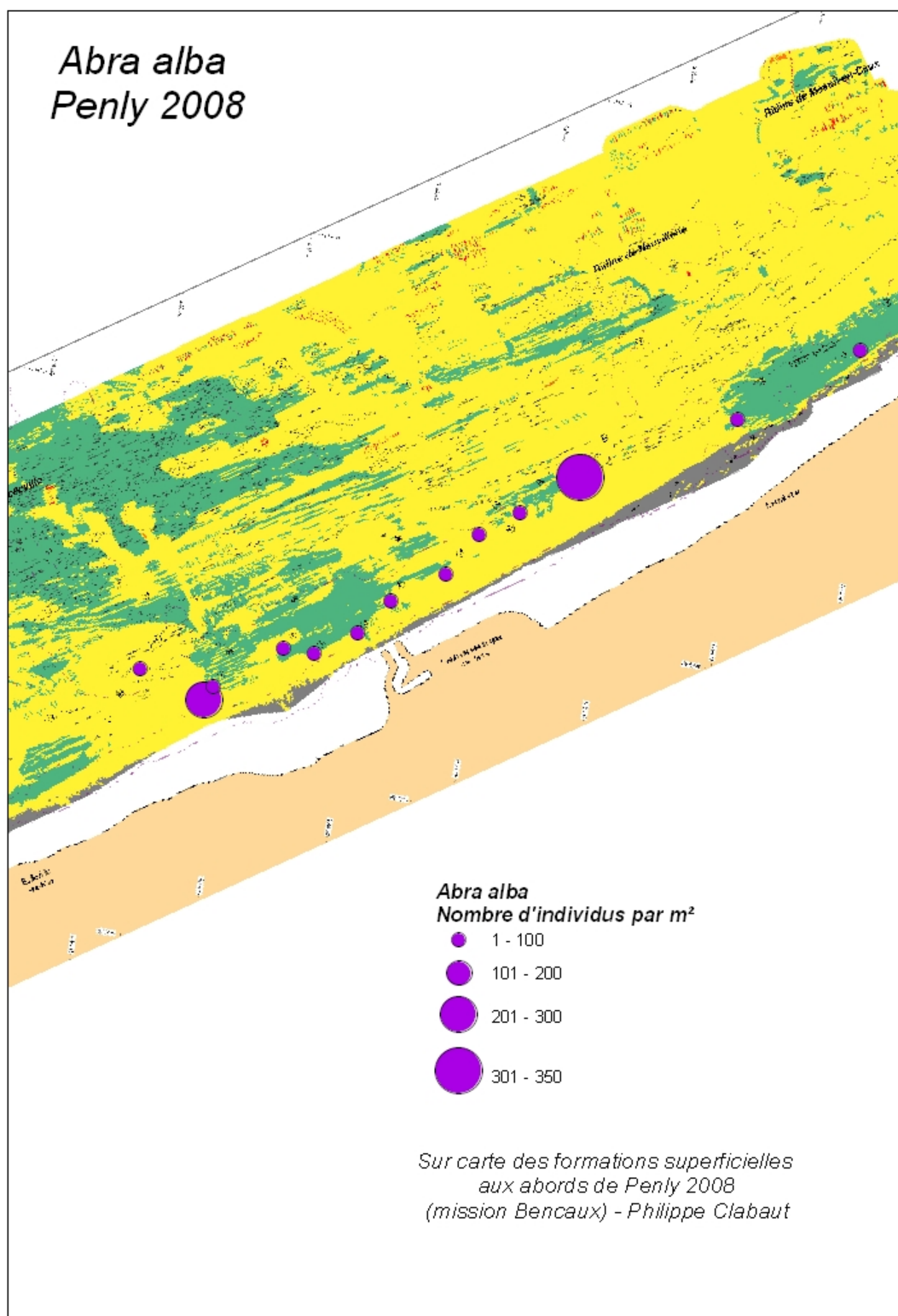


Figure 5.10 : Répartition de *Abra alba* en 2008



## *Lanice conchilega*,

est un annélide polychète sédentaire, vivant dans un tube membraneux incrusté de sable grossier et de débris coquilliers, enfoui verticalement dans le substrat.. Il vit entre 0 et 1700 m de profondeur, dans le sable et les fonds meubles peu vaseux. Il peut former localement des populations denses. On le rencontre en Atlantique, Manche, Mer du Nord, et Méditerranée. Seule l'extrémité supérieure du tube, couronné de franges, dépasse à la surface du sédiment. Ce type d'implantation, lié à de fortes densités, stabilise le sédiment, et entraîne un ralentissement du courant près du fond, provoquant ainsi un enrichissement en particules fines.



Bien présents lors des études d'avant projet et de projet, ces annélides polychètes se font très rares lors de la mission Sonpen en 1992 et peu nombreux lors des missions de 2000 et 2008 (figure 5.11). Ils sont inexistantes lors de la campagne Pylar qui s'est déroulée plus au large dans des sables grossiers. Des mouvements sédimentaires plus ou moins superficiels mais cependant importants et récents (ensablement/désensablement) peuvent être à l'origine de ces variations de densités. La houle peut avoir une action importante dans le remaniement des fonds situés à faible profondeur. De ce fait, les annélides tubicoles sont désensablés et entraînés par le courant.

Les populations de *Lanice conchilega* sont en fait caractérisées par de fortes fluctuations d'abondance tant à l'échelle annuelle, qu'à celle pluriannuelle. Annuellement, il est observé une décroissance de la population en période hivernale suivie d'une recrudescence en période estivale.

Les importantes variations d'abondance de cette espèce dans la frange côtière entre Dieppe et Le Tréport, notamment son absence en 1992 et sa faible présence en 2000 et 2008, s'expliquent par des fluctuations naturelles en lien avec le caractère hydrodynamique de cette zone.

Espèce familière du peuplement des sables fins plus ou moins envasés, *Lanice conchilega* est présent en zone côtière près de la centrale (figures 5.12 à 5.13). Sa répartition varie. Ainsi ce polychète répertorié dans une quinzaine de stations en 2000, le sera dans seulement cinq stations en 2008.

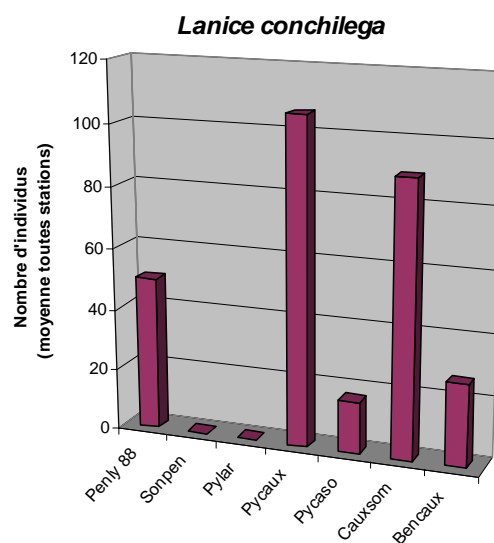


Figure 5.11: *Lanice conchilega*, densités moyennes par m<sup>2</sup> de 1998 à 2008

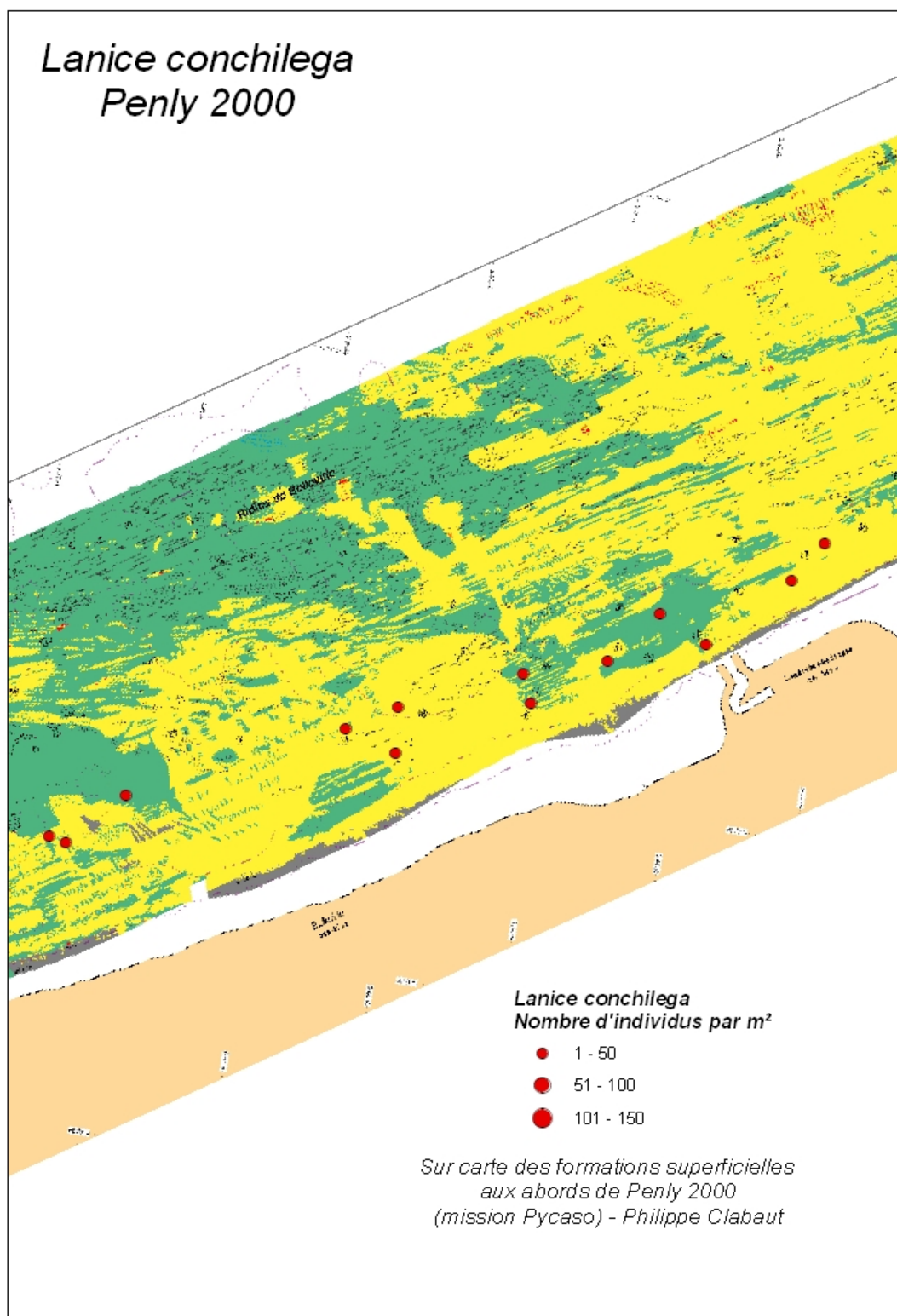


Figure 5.12 : *Lanice conchilega*, répartition en 2000

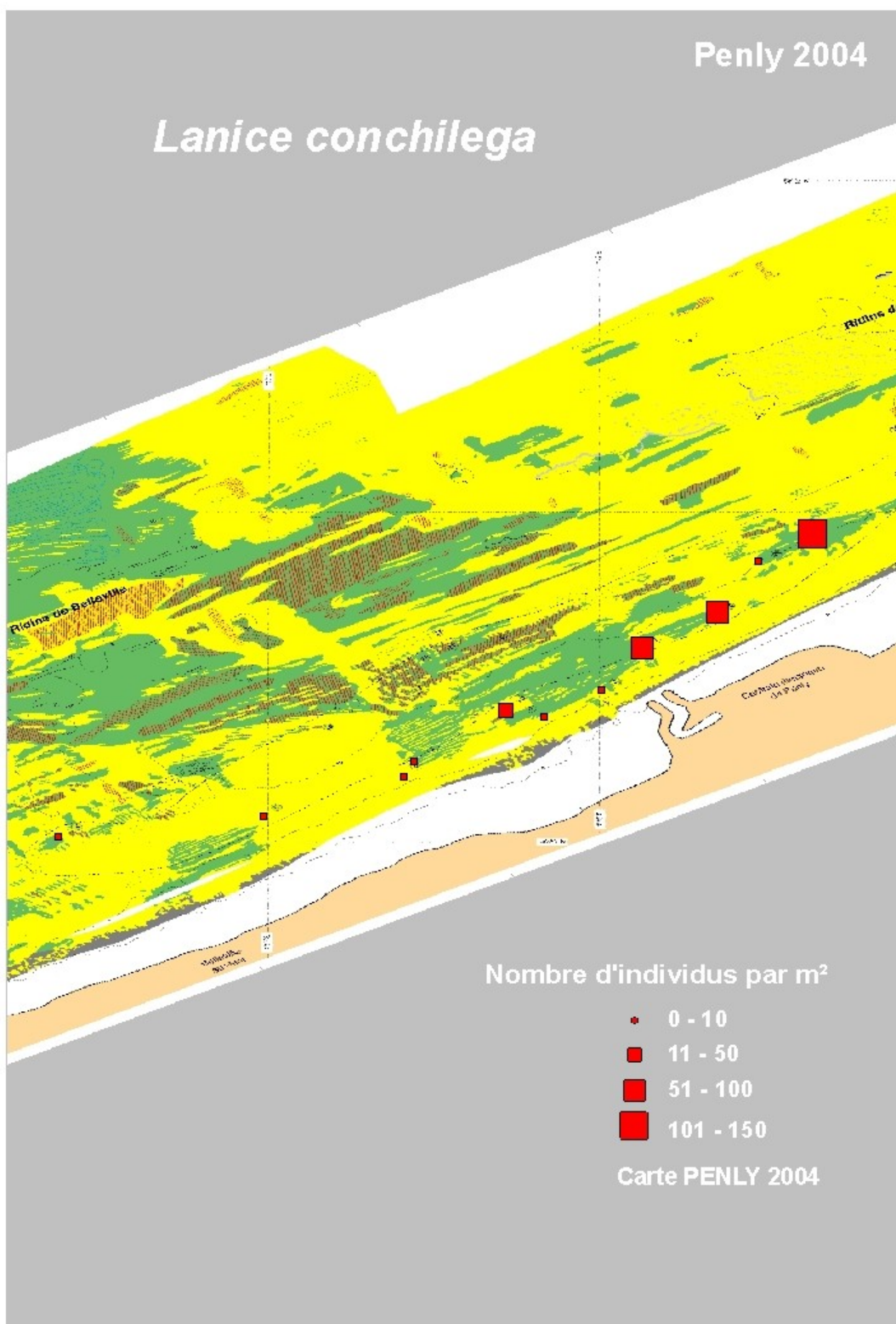


Figure 5.13 : *Lanice conchilega* , répartition en 2004

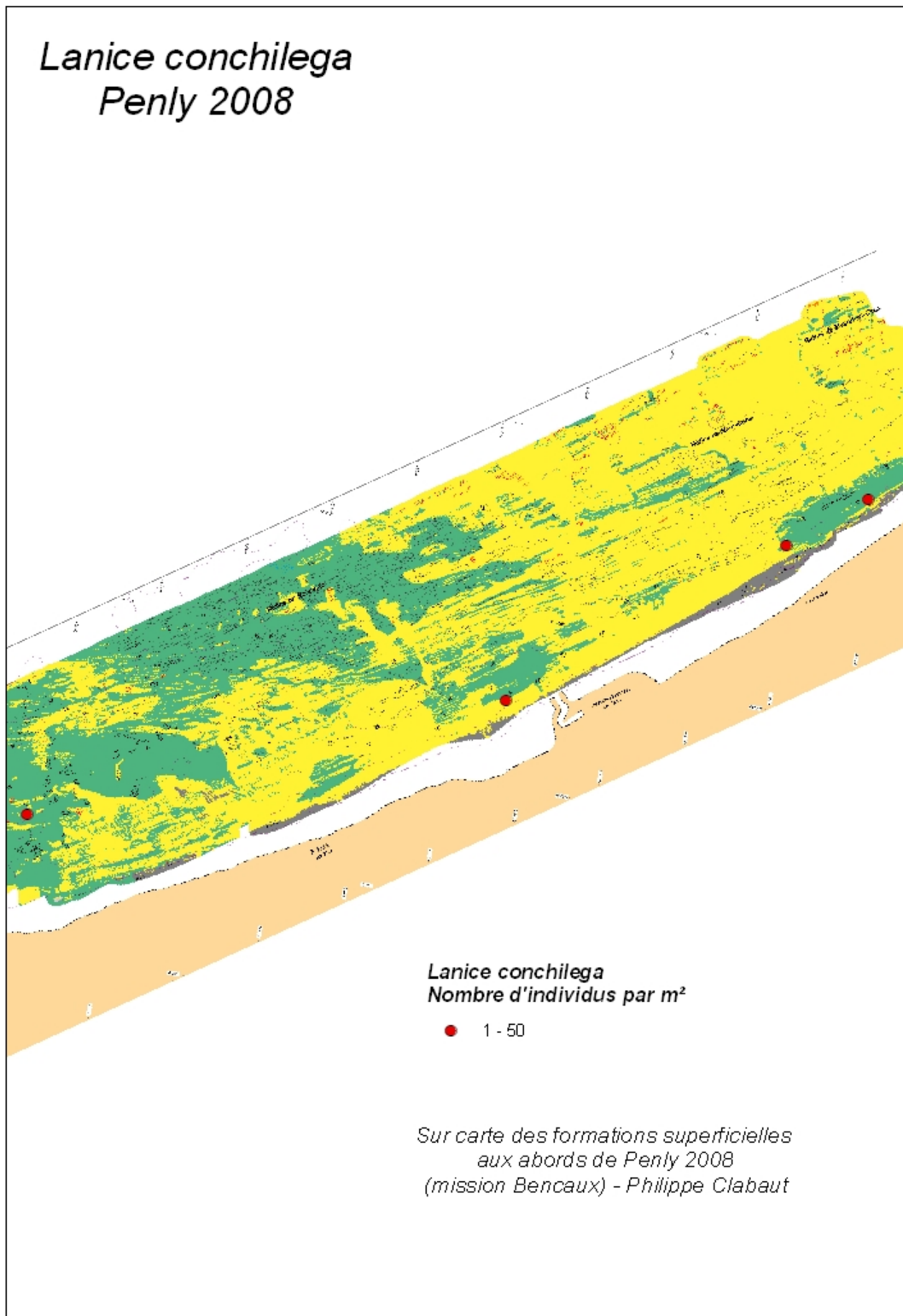


Figure 5.14 : *Lanice conchilega*, répartition en 2008

***Branchiostoma lanceolatum*** (synonyme *Amphioxus lanceolatus*),



est un céphalochordé fusiforme sans appendice locomoteur, nageant par ondulation du corps. Il ne possède ni cerveau ni squelette.

Espèce caractéristique du peuplement des sédiments grossiers, abondante lors de la mission Pylar (1993) réalisée plus au large (figure 5.15).

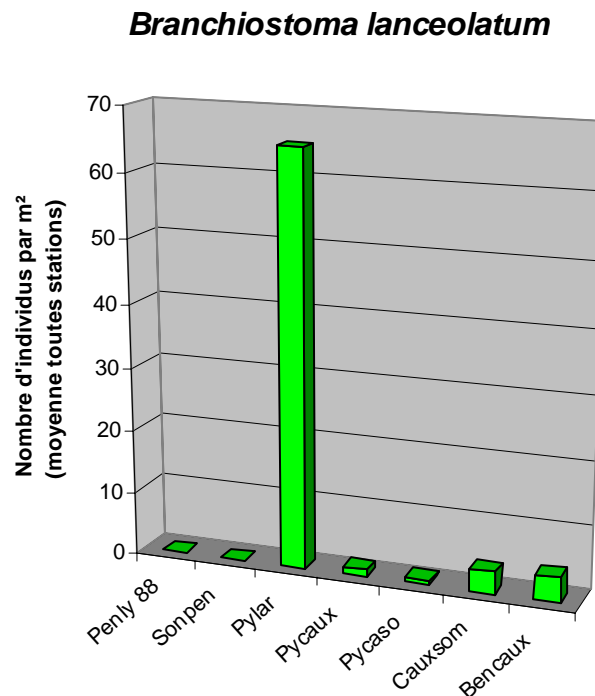


Figure 5.15 : *Branchiostoma lanceolatum*, densités moyennes par m<sup>2</sup> de 1998 à 2008

**5.2.8 *Crepidula fornicata*, espèce invasive**



La crépidule, *Crepidula fornicata*, est un mollusque gastéropode, vivant en colonies. Les individus sont superposés formant des chaînes. Comme de nombreux gastéropodes, c'est un hermaphrodite protandre. Originnaire de la façade atlantique de l'Amérique du Nord, elle est devenue invasive en Europe. Sur le littoral français, elle a été introduite en plusieurs étapes :

Une première introduction a été faite par des ostréiculteurs avec des huîtres de Virginie

transplantées en Angleterre, à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle. Elle est ensuite apparue en France sur les côtes normandes et dans la rade de Brest par les navires lors du débarquement des Alliés durant la Seconde Guerre mondiale.

Une seconde vague de colonisation correspond à des introductions involontaires avec l'huître japonaise *Crassostrea gigas* implantée en Europe à partir du Japon et de la Colombie-Britannique pour remplacer l'huître portugaise *Crassostrea angulata* décimée au début des années 1970. La crépidule a ensuite gagné toute la côte européenne, de la Suède jusqu'à l'Espagne et à la Méditerranée.

La crépidule possède de faibles exigences écologiques : c'est une espèce eurytherme, peu exigeante sur la taille et la nature de sa nourriture, indifférente au sédiment, d'où sa grande facilité d'adaptation et sa distribution dans des milieux très différents. L'absence de prédateurs spécifiques favorise sa prolifération. Sa dispersion peut être favorisée par des activités de pêche, notamment dans le cas d'arts traînants.

Filtreur, cette espèce émet de grandes quantités de biodépôts qui envasent progressivement le fond d'autant plus rapidement si le niveau de densité est élevé, la colonisation ancienne et l'hydrodynamisme faible. Cette modification du milieu favorise une diversification de la faune accompagnatrice par la fixation d'une épifaune sessile et l'installation d'une épifaune vagile essentiellement composée de petits prédateurs.



Signalée pour la première fois dans la région de Penly lors de l'étude d'avant projet (1975), elle réapparaît lors de la mission Pycaux en 1996 (figure 5.16).

En 2000, elle est présente dans 4 stations, au nord est de Dieppe et face à la centrale, où elle est le plus abondante (figure 5.17).

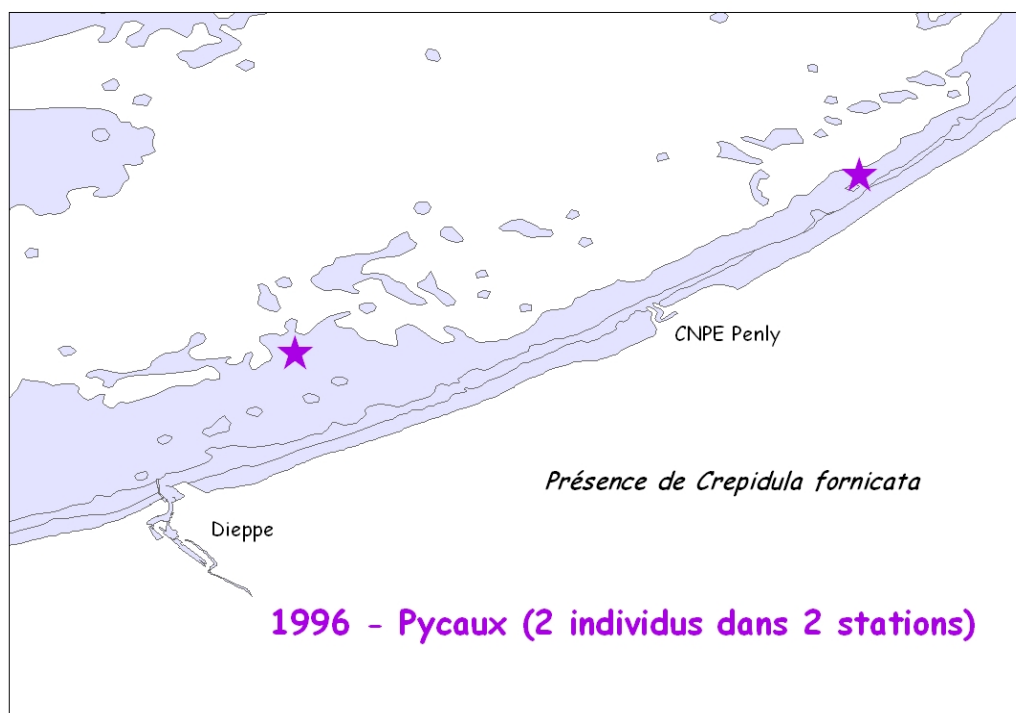


Figure 5.16 : Présence de *Crepidula fornicata* en 1996

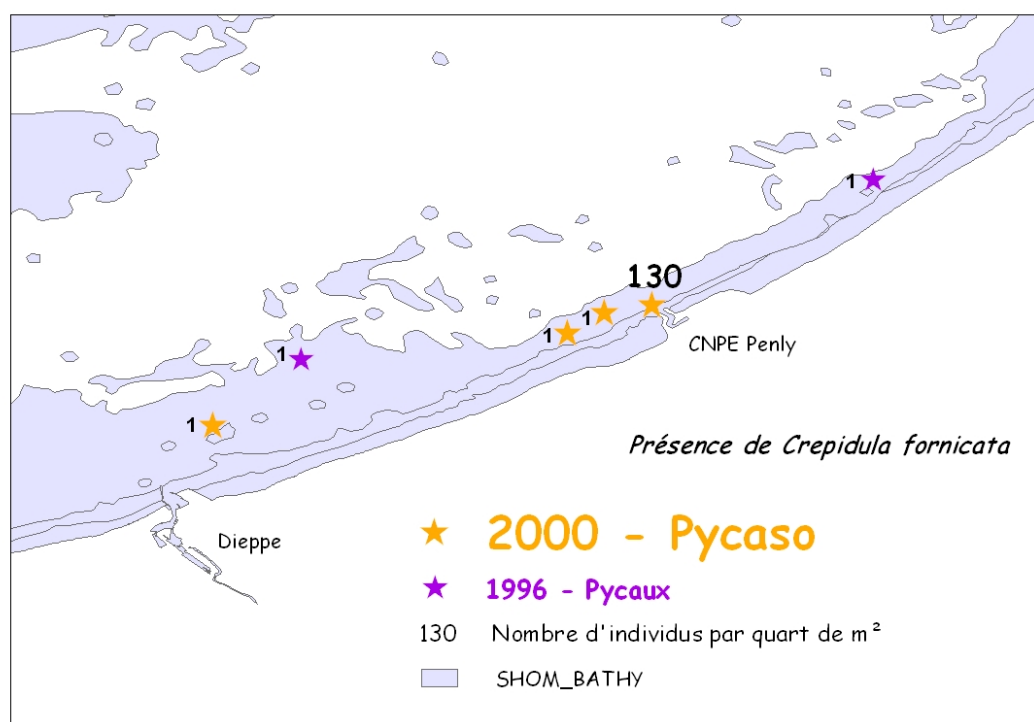


Figure 5.17 : Abondance de *Crepidula fornicata* en 1996 et 2000, nombre d'individus par station par quart de m<sup>2</sup>

En 2004 et 2008, la progression de l'espèce se confirme. Les densités augmentent (figure 5.18 et 5.4).

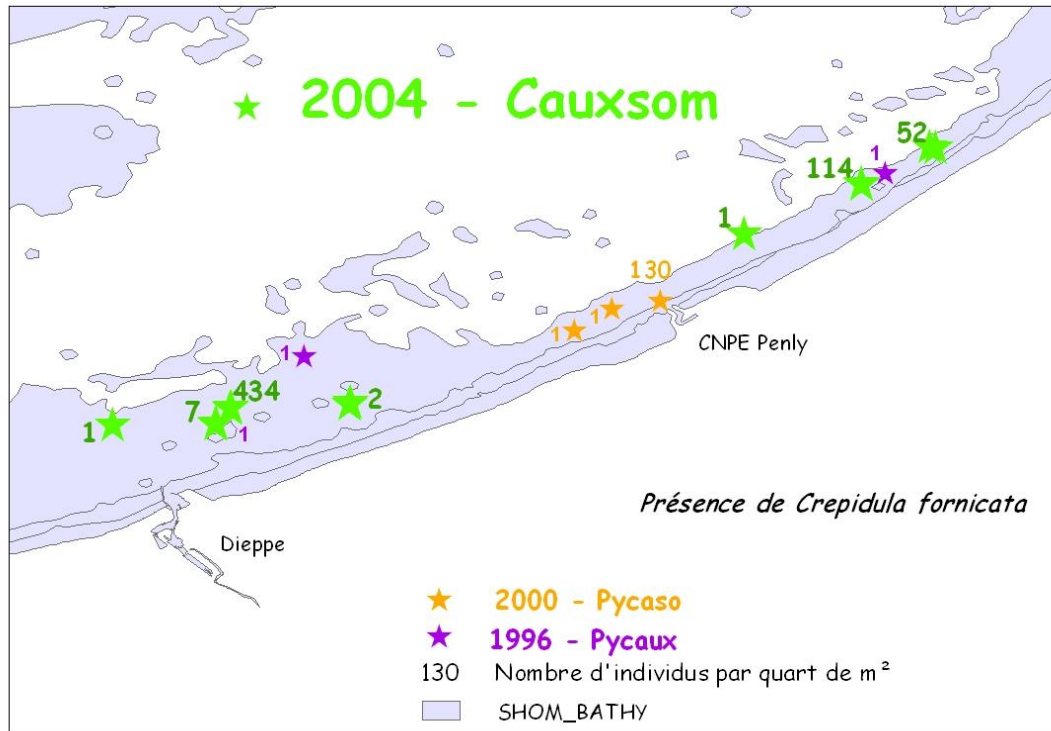


Figure 5.18 : Abondance de *Crepidula fornicata* en 1996 et 2000 et 2004, nombre d'individus par station par quart de m<sup>2</sup>

### 5.3 Conclusion

Les cartographies biomorphosédimentaires, réalisées par l'Ifremer depuis une vingtaine d'années dans le cadre d'un protocole de surveillance quadriennale du domaine benthique côtier de la centrale électronucléaire de Penly, confirment l'organisation générale des formations superficielles classiques de la Manche orientale décrite dans la littérature.

Les études successives des biocénoses montrent des fluctuations importantes de la composition faunistique tant sur le plan qualitatif (diversité) que sur le plan quantitatif (densité). L'une des explications de ces fluctuations tient au caractère hydrodynamique agité de ce secteur côtier.

Ainsi, l'abondance des polychètes annélides *Lanice conchilega* est directement dépendante des phénomènes d'ensablement et de désensablement de ces fonds marins côtiers. Un désensablement rend impossible le maintien de ces polychètes sédentaires, dont les tubes leur servant d'habitat sont déchaussés. Les courants marins dispersent alors le peuplement en place, ainsi que sa faune associée. Leur réimplantation dans ce secteur résulte de la conjonction d'un nouvel ensablement minimal et du cycle biologique de l'espèce elle-même.

La modification des substrats par l'impact mécanique de la centrale (variation du volume sableux lié à la construction du terre-plein ; voir conclusion chapitre précédent, page 157) peut également perturber localement les peuplements.

Ces études confirment également la dynamique des mollusques gastéropodes *Crepidula fornicata*, espèce invasive dont l'importance croissante est observée au droit du Pays de Caux depuis le début de ces études. Sa migration vers le nord-est de la Manche se poursuit.



## 6 Le domaine halieutique

### Rédaction

*Caroline Warenbourg* (Ifremer –RH/PB) *Ichtyoplancton*

*Alain Tétard* (Ifremer –RH/PB) *Ressources et activités halieutiques*

*Jocelyne Morin* (Ifremer –RH/PB) *Ressources et activités halieutiques*

*Marie-Laure Cochard* (Ifremer –RH/PB) *Ressources et activités halieutiques*

### Support statistique

Calculs effectués avec l’outil RSUFI mis au point par le **Département EMH**-Ifremer/Nantes (Rochet et *al.*, 2004) et avec la contribution de **O. Berthélé**.

### Saisie de données

*Flore Rimond* (Ifremer –RH/PB)

### Collecte des données de terrain

*Équipes scientifiques Ifremer de Port-en-Bessin, Boulogne et Nantes*



## **6.1 L'ichtyoplancton**

### **6.1.1 Méthodologie**

Comme prévu dans l'ensemble des conventions d'études successives, les principaux éléments ichtyoplanctoniques (œufs et larves) sont identifiés et l'étude de synthèse réalisée ici concerne les espèces suivantes : la sole (*Solea solea*, L), la limande (*Limanda limanda*, L), le sprat (*Sprattus sprattus*, L) et la sardine (*Sardina pilchardus*, Walbaum), pour l'année 1979 (considérée comme l'année de référence avant la mise en fonctionnement de la centrale électronucléaire de Penly) et pour l'ensemble de la période 1987-2009.

#### **6.1.1.1 Nature et fréquence des observations – Localisation des points de prélèvement**

Pour le suivi écologique traité dans cette partie, nous avons considéré les observations effectuées à Penly comprenant des pêches d'ichtyoplancton auxquelles sont associés des relevés hydrologiques ; le calendrier des missions effectuées chaque année est précisé par espèce étudiée dans le chapitre suivant (6.1.2 Résultats : 6.1.2.1.1 Sole, 6.1.2.1.2 limande, 6.1.2.2.1 sprat et 6.1.2.2.2 sardine)

Depuis le début du suivi de surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de Penly, l'échantillonnage de l'ichtyoplancton et les relevés hydrologiques sont réalisés en 3 points de récolte : un point côtier situé près du canal d'amenée (point 1, ou point *canal*), un point situé dans le rejet (point 2, ou point *rejet*), un point au large hors influence des eaux du rejet (point 3, ou point *large* ou *contrôle*). Les différentes missions à la mer sont généralement à bord d'un chalutier artisanal.

Les mesures sont toujours réalisées à la renverse du courant (le plus souvent renverse de flot, environ ½ heure après la pleine mer). De plus, la date des prélèvements est choisie, dans la mesure du possible, en fonction des coefficients de marée les plus faibles.

#### **6.1.1.2 Paramètres hydrologiques**

La température et la salinité de l'eau sont mesurées à chaque point de prélèvement. Les relevés sont faits à deux niveaux : sub-surface et voisinage du fond, à l'aide d'une sonde VALEPORT 600 CTDS ; la précision des mesures est de 0,1°C pour la température et de 0,5 pour la salinité.

#### **6.1.1.3 Prélèvements ichtyoplanctoniques**

##### **6.1.1.3.1 Description de l'échantillonneur : Bongo grand modèle**

L'engin utilisé pour les pêches de plancton est un échantillonneur de type BONGO grand modèle spécialement conçu pour l'échantillonnage de l'ichtyoplancton. Ses caractéristiques et ses performances ont été notamment décrites par Sherman et Honey (1971), Smith (1974), Schnack (1974), Aldebert (1975), Arbault et Lacroix (1975).

L'échantillonneur BONGO grand modèle utilisé pour les études de sites comporte deux filets de maillage 505  $\mu\text{m}$  montés sur une même armature et pêchant simultanément. Chaque filet a un diamètre d'ouverture de 61 cm, mesure 3 m de longueur et présente une partie cylindrique à l'avant du cône de filtration terminal. À chaque embouchure du couple de filets est fixé un volucompteur (2030 Digital Flowmeter 10 à 500  $\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  de General Oceanics) permettant le calcul des volumes filtrés. Un dépresseur en V de 40 kg environ assure la plongée et la stabilité de l'engin de pêche. Chaque filet se termine par un collecteur à oreilles où les organismes se rassemblent dans un volume d'environ 2 l empêchant leur détérioration.

#### **6.1.1.3.2 Méthode d'échantillonnage**

La méthodologie d'échantillonnage du BONGO s'inspire du manuel de standardisation des méthodes (Jossi et Coll., 1975) édité par le service des pêches des Etats-Unis (National Fisheries Service) ; les modalités d'utilisation décrites par Heral et Coll., (1976) pour adapter cet engin aux études de sites effectuées en eaux côtières peu profondes, ont été abandonnées en 1987. Depuis 1987, la pêche se fait en trait double oblique, depuis le fond jusqu'en surface à la vitesse de 2 nœuds environ ( $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ). Après chaque trait, les filets sont rincés à l'eau de mer afin de rassembler les planctontes dans les collecteurs ; le contenu de chaque collecteur est recueilli dans des bocaux de 2 litres.

#### **6.1.1.3.3 Conservation des échantillons**

Les échantillons sont fixés à l'aide de la solution décrite par Mastail et Battaglia (1978) légèrement modifiée (Bigot, 1979). Ce liquide conservateur est réalisé à base de formol (solution saturée de formaldéhyde à 37 % environ en masse) neutralisé et dilué à 3 % en volume dans de l'eau de mer additionnée d'agents antioxydants et complexants.

#### **6.1.1.3.4 Dépouillements des échantillons**

Chacun des échantillons est fractionné à la boîte de Motoda (Motoda, 1959) qui permet d'en réaliser des bipartitions successives. Pour un taxon donné, le dénombrement, réalisé sur cuve de Dollfuss, est jugé satisfaisant si la fraction examinée contient environ une centaine d'individus. Les œufs et larves de poissons sont généralement comptés sur la moitié, voire la totalité du prélèvement.

Pour les œufs de poissons, nous distinguons toujours deux stades principaux dans l'embryogenèse en regroupant les stades décrits par Mansuetty et Hardy et cités dans Jossi et Coll., 1975 : axe embryonnaire non visible (stade 1) et embryon visible (stade 2). Ici, dans ce rapport de synthèse, les abondances des œufs de poissons sont présentées comme la somme de ces deux stades principaux.

Les abondances par taxon sont exprimées en nombre d'individus par  $\text{m}^3$  d'eau.

## 6.1.2 Résultats

L'ensemble des résultats de cette étude de synthèse reprenant 24 années de suivi écologique de la centrale électronucléaire de Penly suit la même présentation pour chacune des 4 espèces de poissons qui seront présentées successivement.

Chacune des parties récapitule tout d'abord l'ensemble des prélèvements disponibles pour l'espèce considérée sous forme d'un tableau. Ensuite, la première figure de chaque partie réunit les variations saisonnières des abondances totales d'œufs et de larves pour l'ensemble des années (1979, 1987-2009) puis le détail de ces évolutions pour les deux saisons principalement échantillonnées : le printemps (mars, avril, mai) et l'été (juin, juillet, août), année après année et ce aux 3 points de prélèvements. Les figures suivantes représentent les évolutions interannuelles des abondances des œufs et larves de chacune des espèces sous forme d'histogrammes, puis en fonction de la température de surface (en °C), au cours de toute la période d'étude.

### 6.1.2.1 Œufs et larves de Poissons plats

#### 6.1.2.1.1 Sole (*Solea solea*, L.)

Le tableau ci-dessous (tableau 6.1) reprend l'ensemble des prélèvements réalisés pour le suivi écologique de la sole pour l'année 1979 et la période 1987-2009. Les prélèvements sont plus nombreux au cours de l'année de référence (1979) et les deux premières années du suivi écologique (1987 et 1988) : ils ont été réalisés de janvier à septembre. De 1989 à 1995, les prélèvements sont disponibles d'avril à juillet inclus, puis, à partir de 1996, ils se concentrent d'avril à juin.

	jan	fev	mar	avr	mai	jun	jul	aou	sep	oct	nov	dec
1979	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
1987	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
1988				■	■	■	■	■	■	■		
1989				■	■	■	■					
1990				■	■	■	■					
1991				■	■	■	■					
1992				■	■	■	■					
1993				■	■	■	■					
1994				■	■	■	■					
1995				■	■	■	■					
1996				■	■	■	■					
1997				■	■	■	■					
1998				■	■	■	■					
1999				■	■	■	■					
2000				■	■	■	■					
2001				■	■	■	■					
2002				■	■	■	■					
2003				■	■	■	■					
2004				■	■	■	■					
2005				■	■	■	■					
2006				■	■	■	■					
2007				■	■	■	■					
2008				■	■	■	■					
2009				■	■	■	■					

Tableau 6.1 Récapitulatif des prélèvements disponibles pour le suivi écologique de la sole pour l'ensemble de la série temporelle étudiée

Les variations saisonnières des densités d'œufs et de larves de sole à Penly sont présentées sur la figure 6.1, pour l'ensemble de la série temporelle (1979, 1987-2009). La densité totale des œufs est représentée en bleu et la densité des larves en rose.

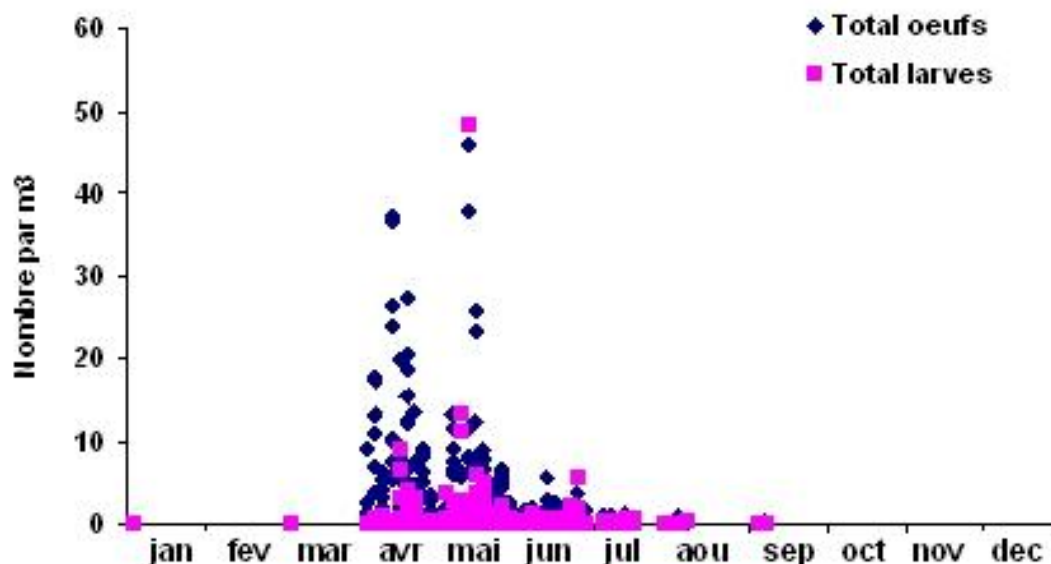


Figure 6.1 : Variations saisonnières des abondances totales d'œufs (en bleu) et de larves (en rose) de sole à Penly pour l'ensemble des années (1979, 1987-2009)

La majorité des prélèvements a lieu à partir du mois d'avril et des effectifs élevés sont observés dès les premières campagnes, le pic se situant généralement dès la seconde quinzaine du mois d'avril pour les œufs et les effectifs des larves augmentent en fin de saison, atteignant leur maximum lors de la campagne de mai.

Les deux figures suivantes permettent de suivre les abondances des œufs (figure 6.2) et des larves (figure 6.3) pour les deux saisons principales : le printemps et l'été, et ce aux 3 stations d'échantillonnage afin de mettre en évidence un éventuel gradient côte-large. Cette évolution est représentée année après année, permettant ainsi de suivre l'importance des pics saisonniers tout au long de la série temporelle.

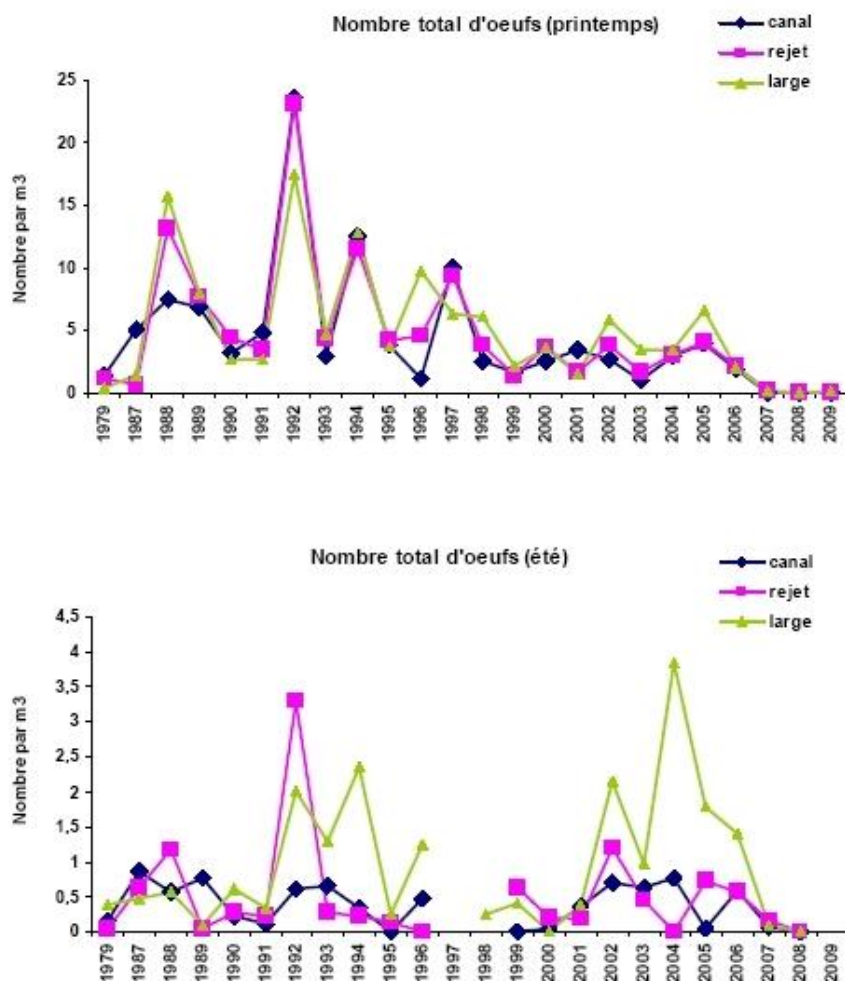
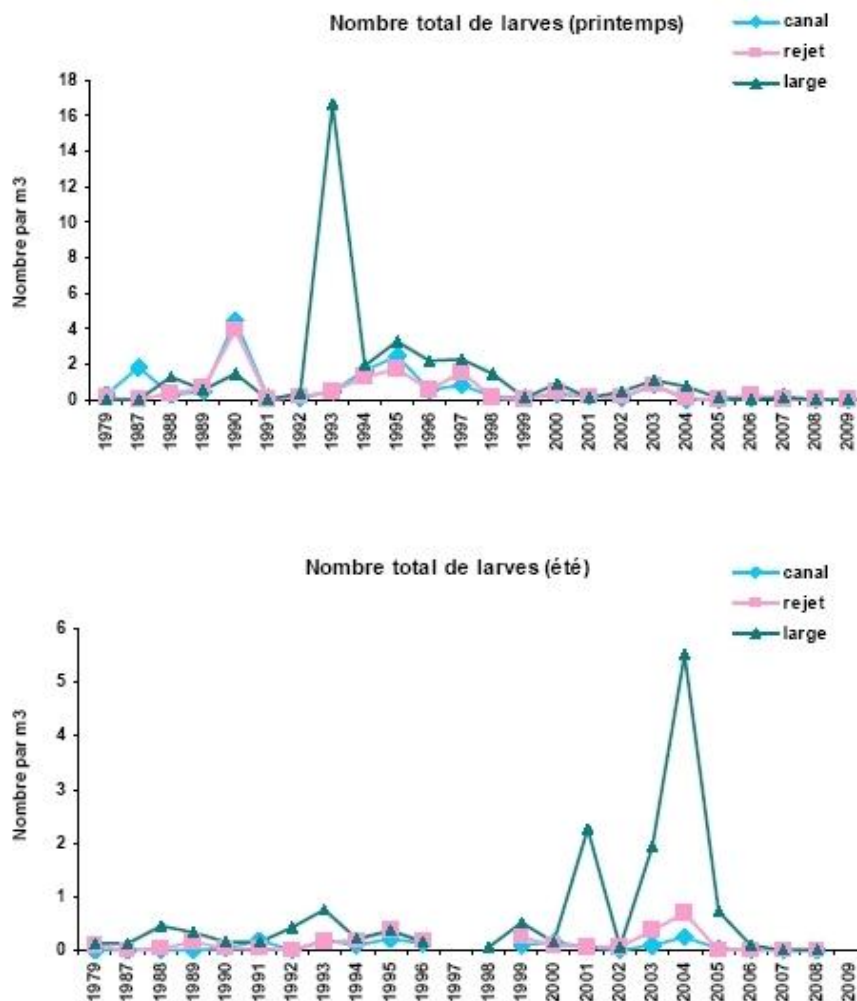


Figure 6.2 : Évolution au printemps et en été des abondances totales d'œufs de sole, aux 3 points de prélèvements, au cours de la période d'étude

La figure 6.2 montre l'évolution temporelle des densités d'œufs de sole au printemps (moyenne des abondances en mars, avril et mai) et en été (moyenne des abondances en juin, juillet et août). Au printemps, on observe les pics d'abondances les plus élevés dans la première moitié de la série temporelle, en 1988, 1992, 1994 et 1997, atteignant un maximum de 24 œufs par m<sup>3</sup> en 1992. Les densités les plus faibles sont enregistrées au cours des trois dernières années de la série (2007-2009). Cependant, pour l'ensemble de la série, on remarque que les abondances sont généralement plus élevées aux stations *rejet* et *large*, excepté en 1992, 1994 et 1997 où les abondances sont élevées aux trois stations d'échantillonnage. En été, les densités des œufs sont beaucoup moins élevées (au maximum 4 œufs par m<sup>3</sup> en 2004 au *large*) et concernant cette évolution des œufs durant la saison estivale, les densités les plus élevées sont enregistrées dans la deuxième moitié de la série temporelle, et essentiellement à la station située la plus au large.

On remarque une évolution similaire concernant l'évolution saisonnière des larves de sole tout au long de la série temporelle (figure 6.3). Au printemps, les pics les plus élevés sont enregistrés dans la première moitié de la série temporelle et à la station du *large*, mais pas nécessairement aux mêmes années que ceux enregistrés pour les œufs (traduisant peut-être une forte mortalité de ces premiers stades de vie). En été, on retrouve la même tendance que

pour les œufs, à savoir des densités plus importantes de 1998 à 2008 à la station du *large* et l'abondance la plus élevée est également enregistrée en 2004 et atteint 6 larves de sole par m<sup>3</sup> à la station du *large*.



**Figure 6.3 : Évolution au printemps et en été des abondances totales de larves de sole, aux 3 points de prélèvements, au cours de la période d'étude**

Pour résumer cette évolution interannuelle des abondances des œufs et des larves de la sole, la figure 6.4 reprend les abondances moyennes pour chaque année, pour le site de Penly, entre 1979 (année de référence) et de 1987 à 2009.

Les évolutions interannuelles des œufs et des larves de cette espèce de poisson plat suivent la même tendance : l'année 1979 montre une abondance faible puis, c'est au cours de la période 1987-1999 que sont enregistrés les pics d'abondances les plus élevés. A partir de 1999, les abondances des œufs et des larves mesurées sont plus faibles et au cours des trois dernières années (2007-2009) on note une diminution importante de l'abondance des œufs et des larves de sole, les maxima observés sont les plus bas de la série, voire des abondances de larves nulles depuis deux ans.



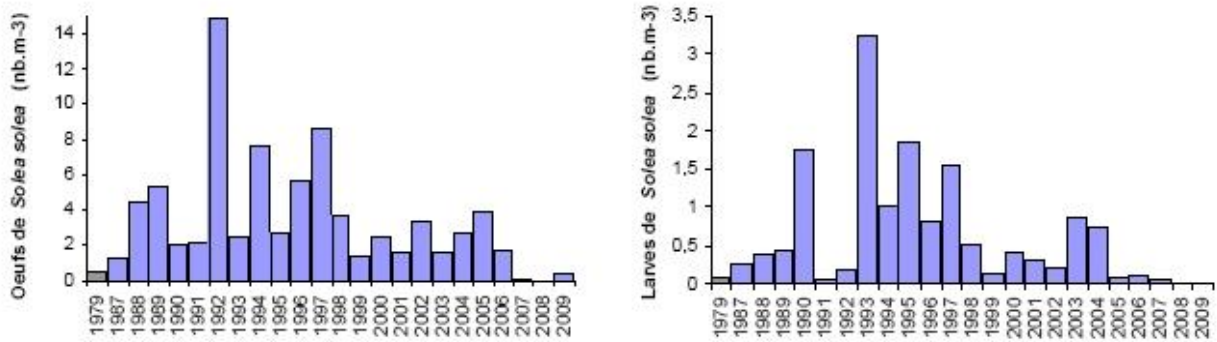


Figure 6.4 : Évolutions interannuelles des abondances des œufs et larves de sole à Penly en 1979 et de 1987 à 2009 (moyenne annuelle et pour l'ensemble des 3 stations, exprimées en nombre par m<sup>3</sup>). L'année de référence (1979) est représentée en gris

La figure 6.5 reprend ces deux tendances interannuelles sous forme de courbe mais représente également l'évolution interannuelle de la température de surface moyenne pour l'ensemble des 3 sites de prélèvements. Cette figure permet tout d'abord d'illustrer un décalage d'une année entre les 2 courbes d'abondances des œufs et des larves mais cette figure permet également de mettre en évidence que l'évolution des œufs de sole suit sensiblement celle de la température de surface jusqu'en 2002 puis ces deux courbes semblent évoluer différemment : la température augmente de 2005 à 2008 alors que l'abondance des œufs de sole diminue.

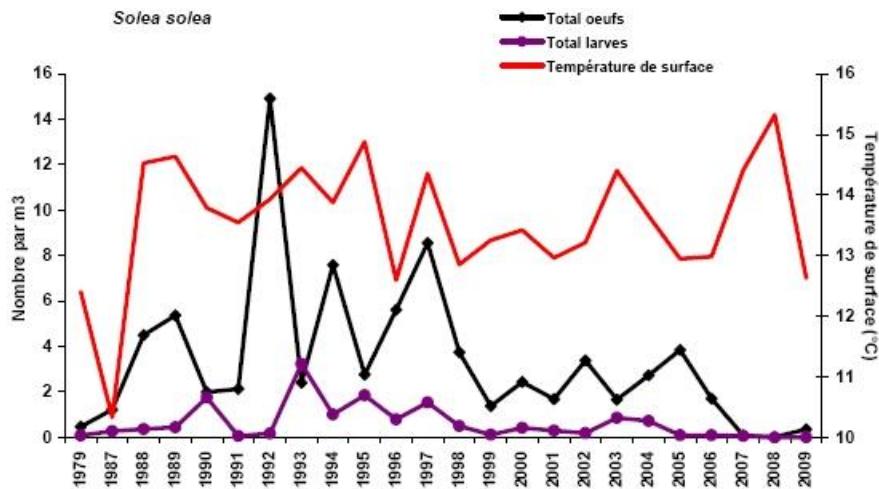


Figure 6.5 : Évolutions interannuelles des abondances des œufs et larves et de la température de surface (en °C) au cours de la période d'étude

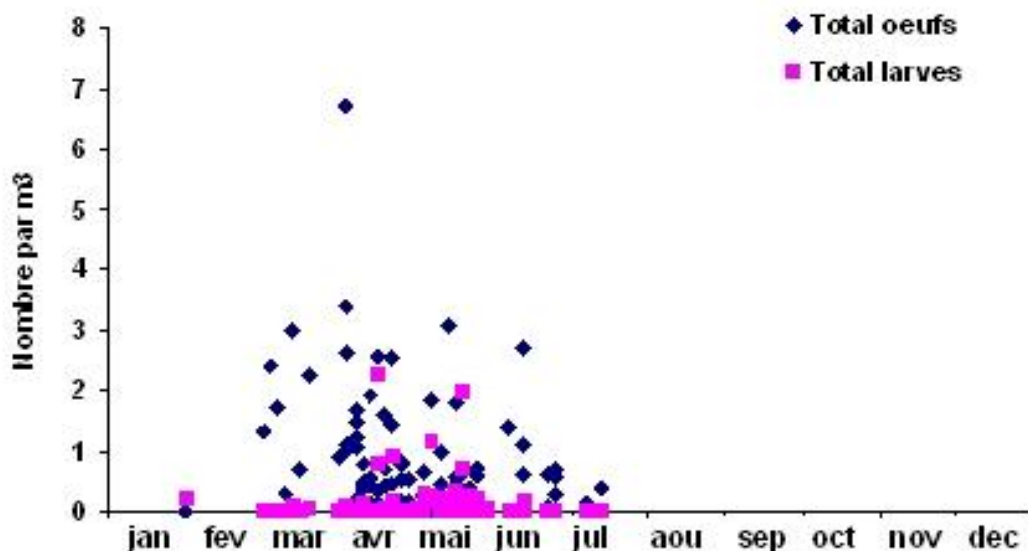
#### 6.1.2.1.2 La limande (*Limanda limanda*, L.)

Le tableau 6.2 montre des prélèvements disponibles pour la limande beaucoup moins nombreux que pour la sole. Ils s'étalent de février à mai pour les deux premières années puis se concentrent essentiellement en avril-mai pour le reste de la série temporelle, voire même sont inexistantes certaines années (1988, 2001, 2007 et 2008).

	jan	fev	mar	avr	mai	jun	jul	aou	sep	oct	nov	dec
1979												
1987												
1988												
1989												
1990												
1991												
1992												
1993												
1994												
1995												
1996												
1997												
1998												
1999												
2000												
2001												
2002												
2003												
2004												
2005												
2006												
2007												
2008												
2009												

**Tableau 6.2. Récapitulatif des prélèvements disponibles pour le suivi écologique de la limande pour l'ensemble de la série temporelle étudiée**

Les variations saisonnières des densités d'œufs et de larves de limande à Penly sont présentées sur la figure 6.6. Les prélèvements ont eu lieu sur une période plus grande : de mars à juillet, la période de ponte de cette espèce a été bien circonscrite dans sa globalité. Les densités des œufs augmentent à partir de la deuxième quinzaine du mois de mars pour atteindre un pic début avril. Concernant les larves, les densités augmentent avec un décalage d'une quinzaine de jours par rapport aux œufs, reflétant le cycle de croissance de cette espèce.



**Figure 6.6 : Variations saisonnières des abondances totales d'œufs (en bleu) et de larves (en rose) de limande à Penly pour l'ensemble des années (1979, 1987-2009)**

Les figures 6.7 et 6.8 montrent l'évolution temporelle des densités d'œufs et des larves de limande au printemps et en été. La première chose remarquable sur ces deux figures, et plus particulièrement en été, c'est le faible nombre de prélèvements disponibles pour cette espèce : il s'avère que certaines années, cette espèce n'a pas été étudiée, et peut être même confondue avec une autre espèce (la plie, *Pleuronectes platessa*) dont la morphologie des premiers stades larvaires est très similaire à celle de la limande.

Au printemps, pour les œufs (figure 6.7) et les larves de limande (figure 6.8), on observe les pics d'abondances les plus élevés dans la première partie de la série temporelle (jusqu'en 1995), essentiellement à la station du *large* et les densités les plus faibles sont enregistrées à partir de l'année 2006.

Durant la période estivale, malgré le peu de valeurs disponibles, on note également que les œufs de limande présentent les abondances les plus élevées de 1990 à 1993 et des valeurs très faibles en 2006, et ce pour les 3 stations de prélèvements. Les larves de limande montrent un seul pic d'abondance au cours de toute la série temporelle, en 1993 à la station du *large*, et qui atteint 0,17 larves par m<sup>3</sup>.

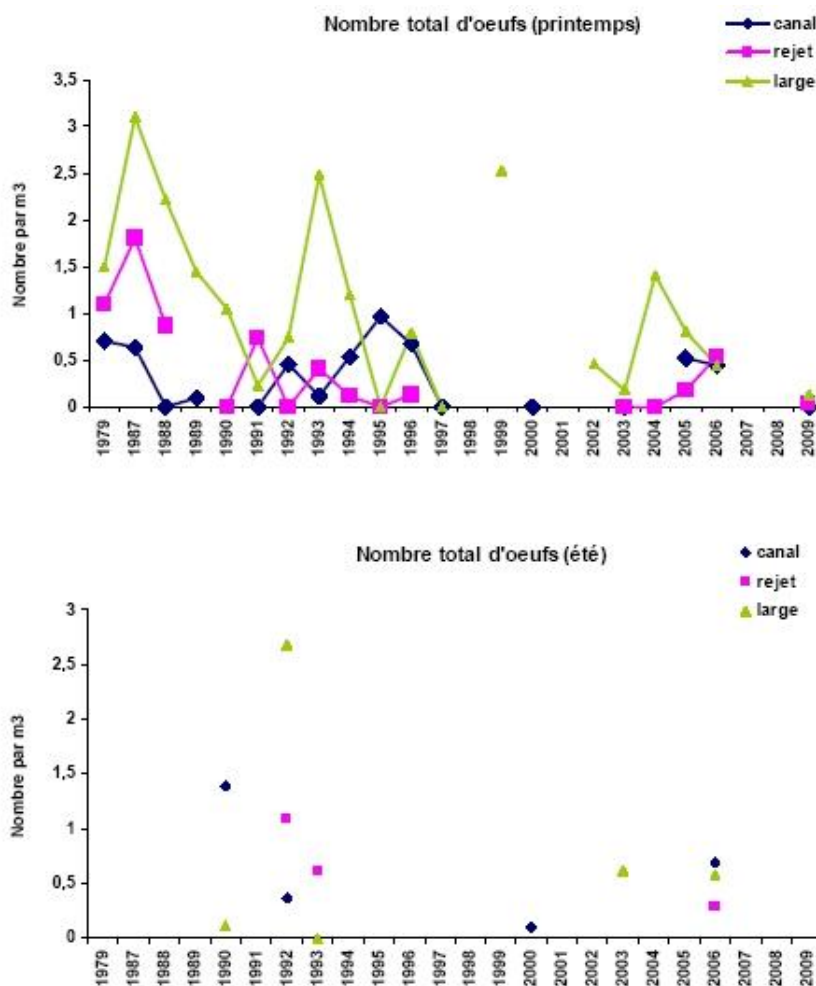
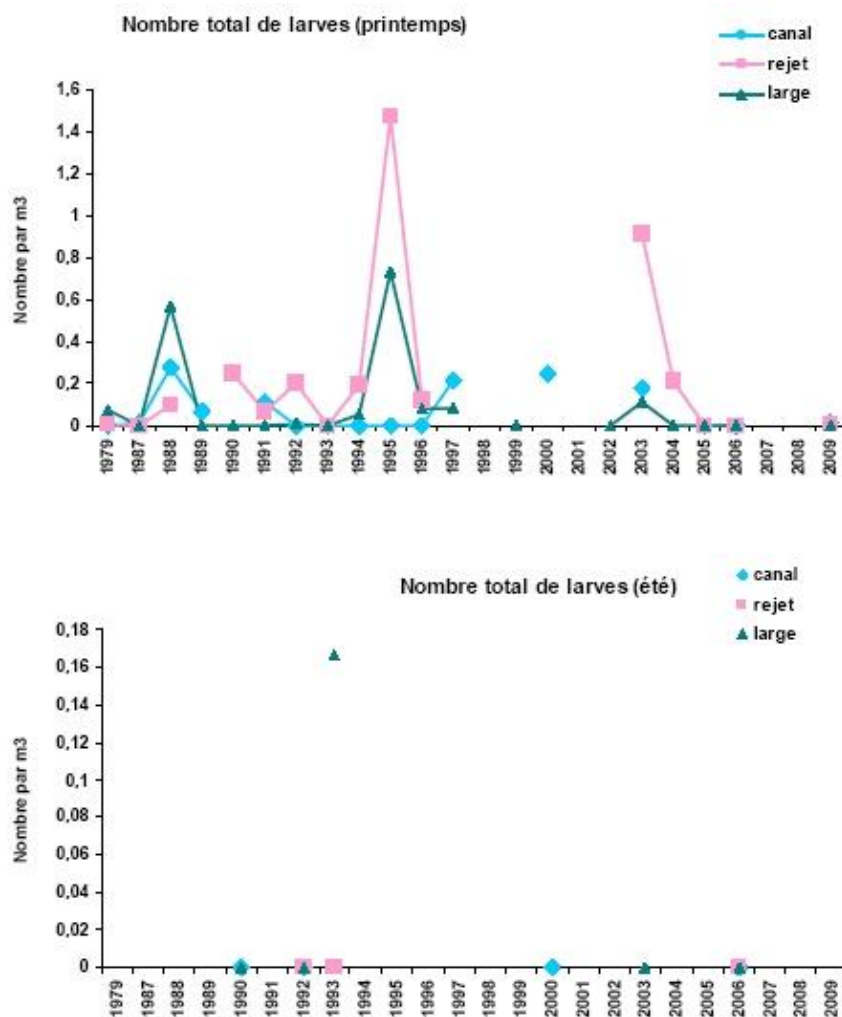


Figure 6.7 : Évolution au printemps et en été des abondances totales d'œufs de limande, aux 3 points de prélèvements, au cours de la période d'étude



**Figure 6.8 : Évolution au printemps et en été des abondances totales de larves de limande, aux 3 points de prélèvements, au cours de la période d'étude**

La figure 6.9 reprend les abondances moyennes des œufs et des larves de limande pour chaque année, pour le site de Penly, entre 1979 (année de référence) et de 1987 à 2009.

Les évolutions interannuelles des œufs de cette espèce de poisson plat ne suivent pas la même tendance que celle de la sole : l'année 1979 montre une abondance relativement élevée (1,4 œufs par m<sup>3</sup>) puis ces abondances restent moyennes jusqu'en 1996. L'abondance maximale est enregistrée en 1999 (2,5 œufs par m<sup>3</sup>). De 2000 à 2009, les œufs de limande présentent des densités faibles.

Concernant les œufs de limande, l'autre espèce de poisson plat étudiée au site de Penly, même si les densités observées en 2009 sont faibles, les larves de limande sont absentes des prélèvements depuis 2005 et le pic d'abondance a été enregistré en 1995 (0,85 œufs par m<sup>3</sup>).

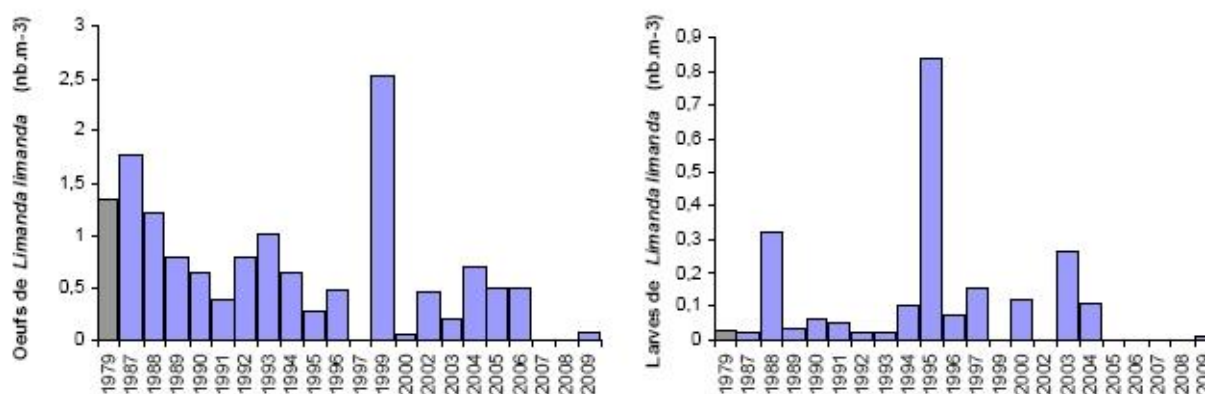


Figure 6.9 : Évolution des abondances des œufs et larves de limande à Penly en 1979 et de 1987 à 2009 (moyenne annuelle et pour l'ensemble des 3 stations, exprimées en nombre par m<sup>3</sup>). L'année de référence (1979) est représentée en gris

Comme pour la sole, la figure 6.10 reprend ces deux tendances interannuelles sous forme de courbe mais représente également l'évolution interannuelle de la température de surface moyenne pour l'ensemble des 3 sites de prélèvements. Cette figure permet également de mettre en évidence un décalage d'une année entre les 2 courbes d'abondances des œufs et des larves mais cette fois ci, il semblerait que ce soit la courbe représentant l'évolution interannuelle de l'abondance des larves qui soit plus en accord avec l'évolution de la température de surface enregistrée au niveau des 3 stations d'étude du site de Penly.

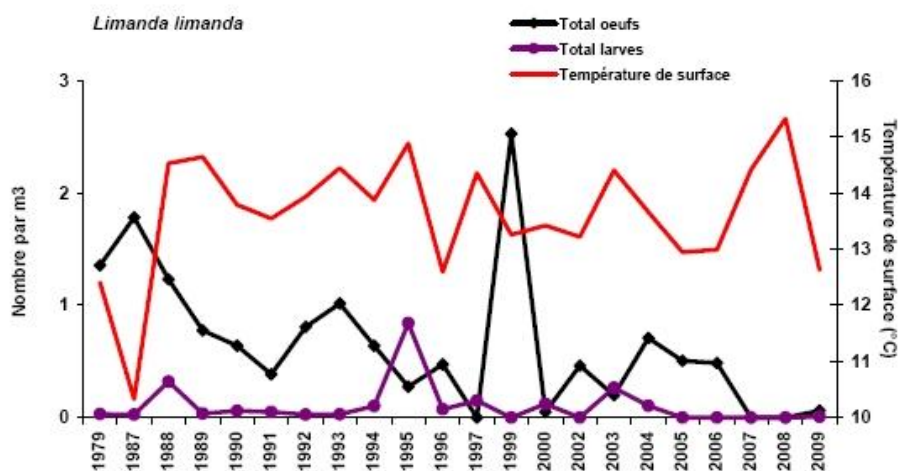


Figure 6.10 : Évolutions interannuelles des abondances des œufs et larves et de la température de surface (en °C) au cours de la période d'étude

## 6.1.2.2 Œufs et larves d'autres espèces de poissons

### 6.1.2.2.1 Le sprat (*Sprattus sprattus*, L.)

Pour le sprat, le tableau récapitulatif des prélèvements réalisés pour le suivi écologique (tableau 6.3) sont là encore plus nombreux au cours de l'année de référence (1979) et les deux premières années du suivi écologique (1987 et 1988) : ils ont été réalisés de janvier à septembre ou octobre. De 1989 à 1995, les prélèvements sont disponibles d'avril à juillet inclus, puis, à partir de 1996, ils se concentrent d'avril à juin.

	jan	fev	mar	avr	mai	jun	juil	aoû	sep	oct	nov	dec
1979												
1987												
1988												
1989												
1990												
1991												
1992												
1993												
1994												
1995												
1996												
1997												
1998												
1999												
2000												
2001												
2002												
2003												
2004												
2005												
2006												
2007												
2008												
2009												

Tableau 6.3. Récapitulatif des prélèvements disponibles pour le suivi écologique du sprat pour l'ensemble de la série temporelle étudiée

Les variations saisonnières des densités d'œufs et de larves de sprat à Penly sont présentées sur la figure 6.11, pour l'ensemble de la série temporelle.

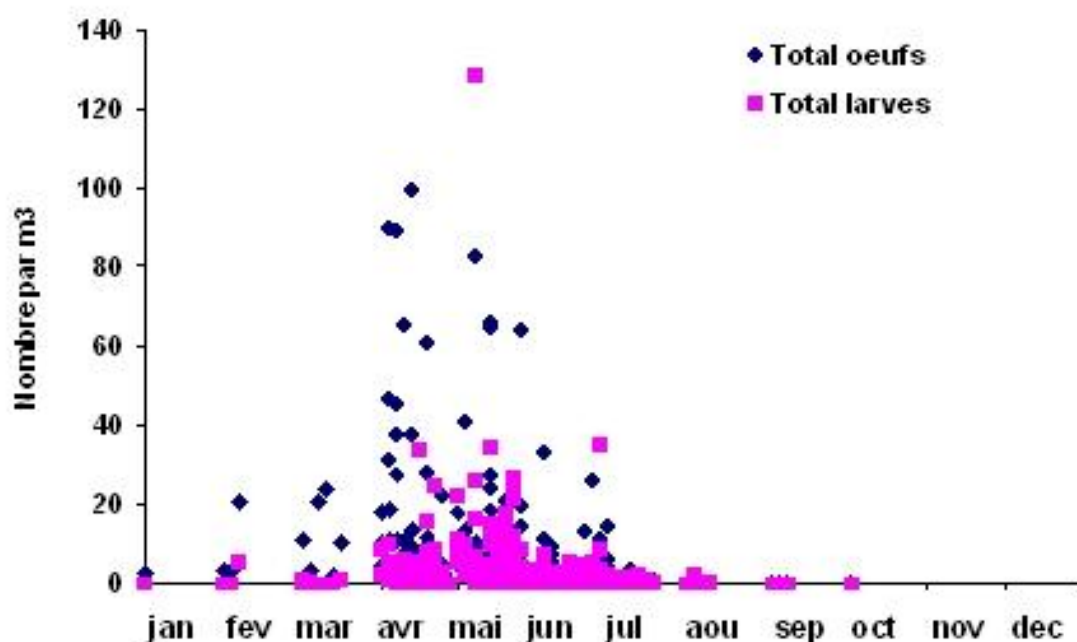
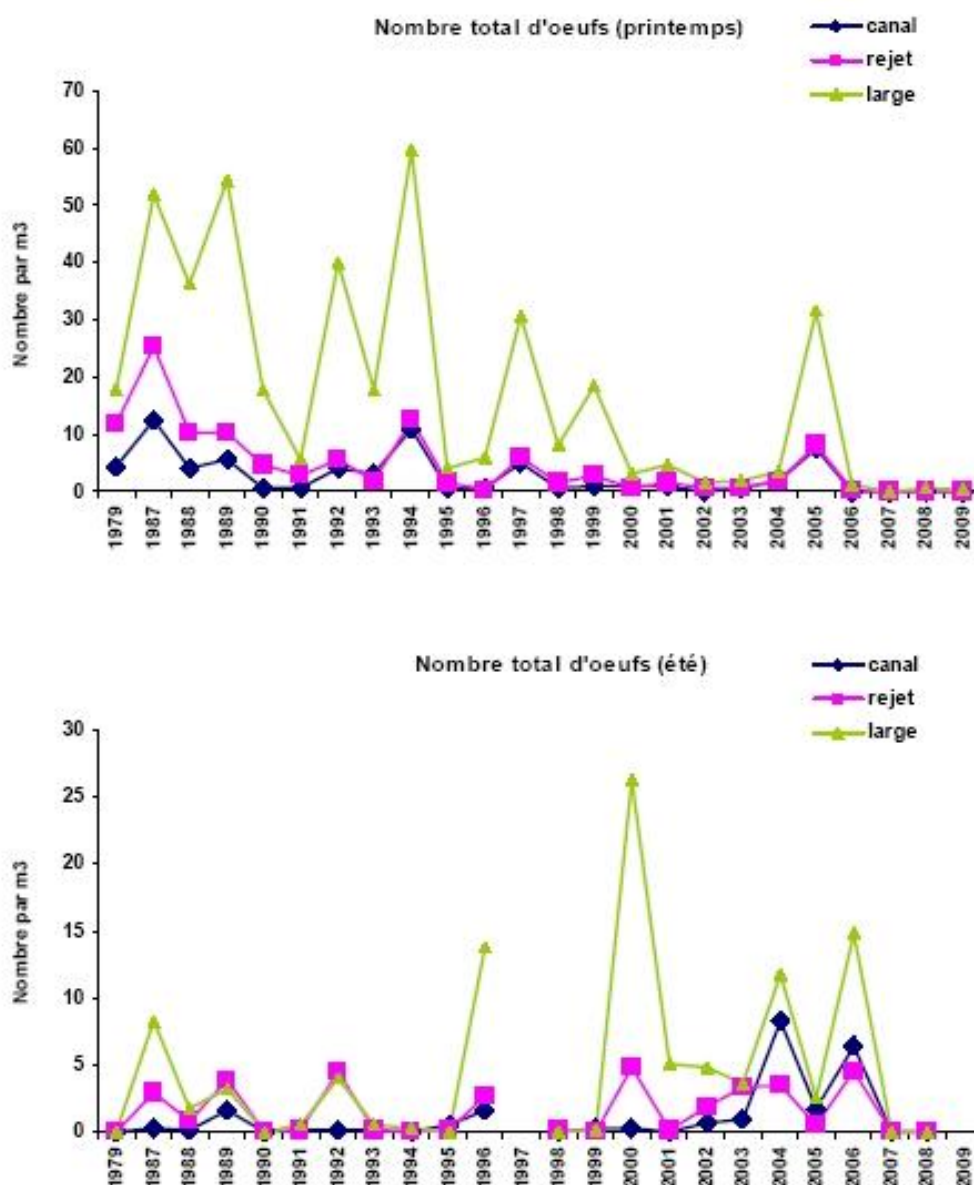


Figure 6.11. Variations saisonnières des abondances totales d'œufs (en bleu) et de larves (en rose) de sprat à Penly pour l'ensemble des années (1979, 1987-2009)

La période de ponte est généralement plus étendue que pour la sole et la limande et semble bien ici circonscrite par les différentes campagnes qui ont eu lieu de mars à juillet. Les effectifs les plus élevés sont observés dès le début du mois d'avril pour les œufs et dans la deuxième quinzaine du mois d'avril pour les larves.

Les figures 6.12 et 6.13 montrent l'évolution temporelle des densités d'œufs et de larves de sprat au printemps (moyenne des abondances en mars, avril et mai) et en été (moyenne des

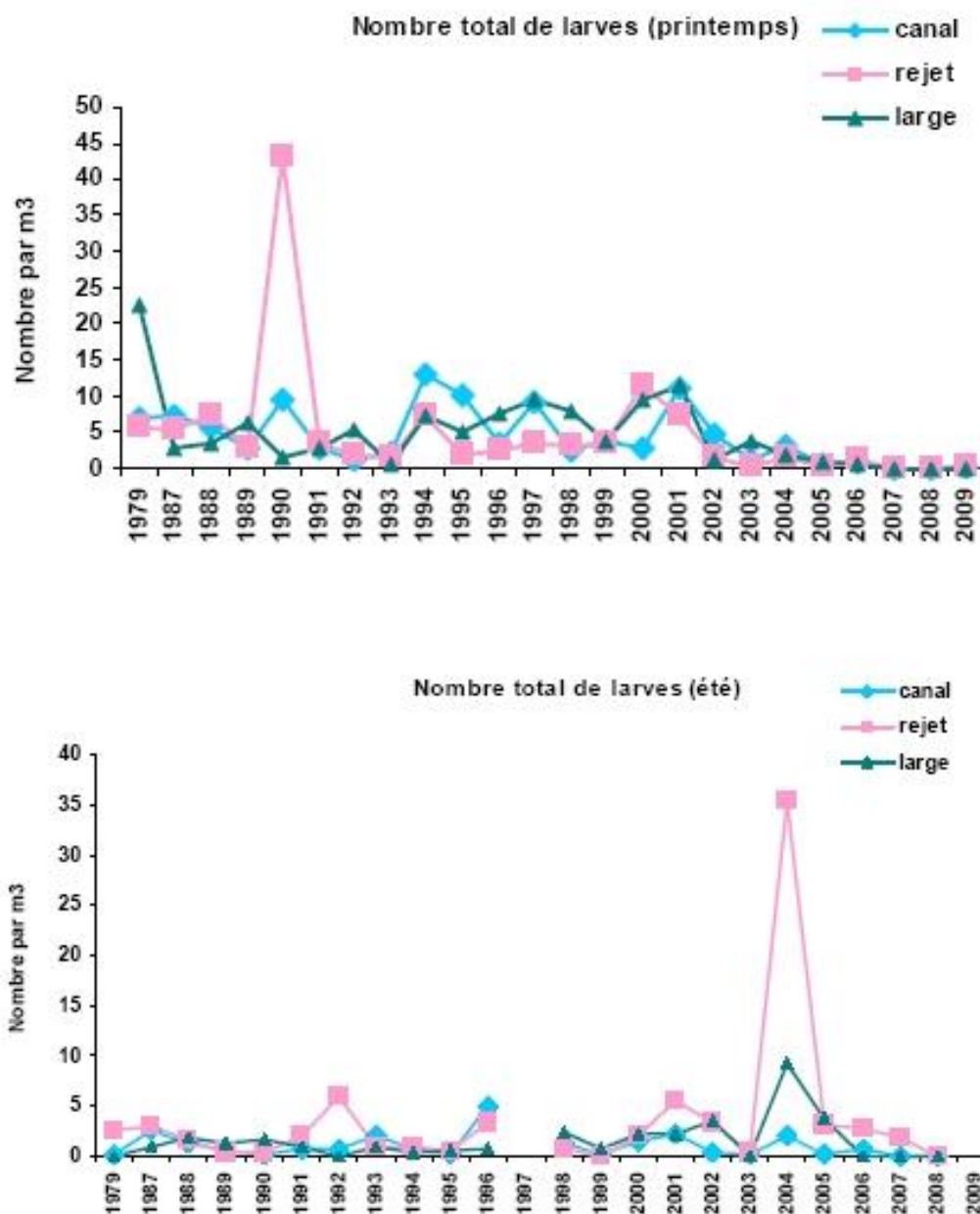
abondances en juin, juillet et août). Concernant les œufs, on remarque tout d'abord que les abondances à la station du *large* sont toujours supérieures à celles des deux autres stations. Au printemps, on observe les pics d'abondances les plus élevés dans la première moitié de la série temporelle, en 1987, 1989, 1992 et 1994, atteignant un maximum de plus de 60 œufs par m<sup>3</sup> en 1994. Là encore, les densités les plus faibles sont enregistrées au cours des trois dernières années de la série (2007-2009). En été, les densités des œufs sont beaucoup moins élevées (au maximum 27 œufs par m<sup>3</sup> en 2000 au *large*) et concernant cette évolution des œufs durant la saison estivale, les densités les plus élevées sont enregistrées dans la deuxième moitié de la série temporelle.



**Figure 6.12. Evolution au printemps et en été des abondances totales d'œufs de sprat, aux 3 points de prélèvements, au cours de la période d'étude**

On remarque une évolution similaire concernant l'évolution saisonnière des larves de sprat tout au long de la série temporelle (figure 6.13). Au printemps, les pics les plus élevés sont enregistrés dans la première moitié de la série temporelle et à la station *rejet*, atteignant un maximum de 45 larves de sprat par m<sup>3</sup> en 1990. Pour cette espèce également, les fortes

abondances de larves n'interviennent pas nécessairement aux mêmes années que ceux enregistrés pour les œufs (traduisant peut-être une forte mortalité de ces premiers stades de vie). En été, on retrouve la même tendance que pour les œufs, à savoir des densités plus importantes de 1998 à 2004 à la station du *large* et l'abondance la plus élevée est enregistrée en 2004 et atteint 35 larves de sprat par m<sup>3</sup> à la station *rejet*.



**Figure 6.13. Evolution au printemps et en été des abondances totales de larves de sprat, aux 3 points de prélèvements, au cours de la période d'étude**

Les évolutions interannuelles des œufs et des larves de sprat sont résumées sous forme d'histogramme sur la figure 6.14. Les abondances sont moyennes pour l'année de référence et, pour cette espèce, des pics d'abondance élevée sont enregistrés tout au long de la série temporelle quand on considère l'abondance non plus avec une valeur par saison (figures 6.12 et 6.13) mais une valeur moyenne par année. Cependant, comme pour les deux espèces de poissons plats déjà décrites dans cette étude, on observe les plus faibles abondances de la série de 2007 à 2009 pour le sprat (œufs et larves).



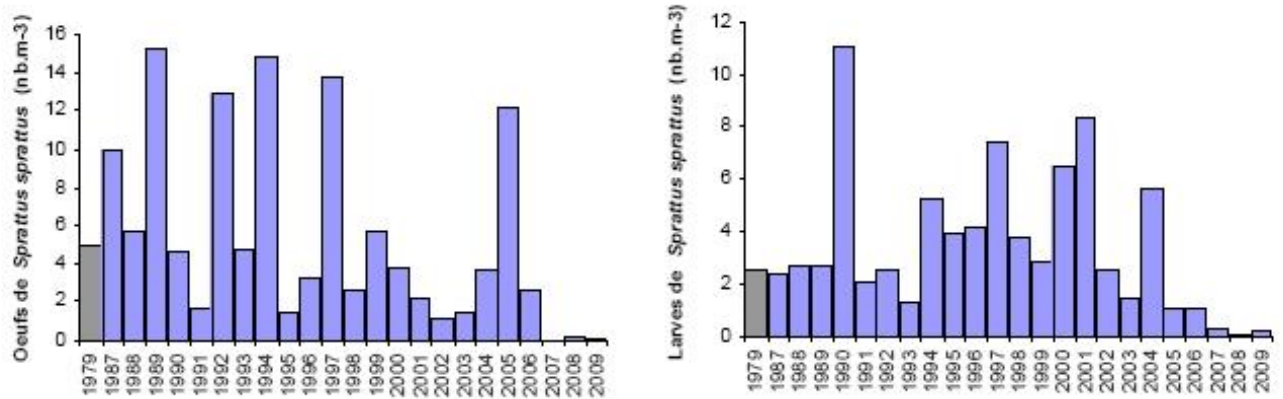


Figure 6.14. Evolution des abondances des œufs et larves de sprat à Penly en 1979 et de 1987 à 2009 (moyenne annuelle et pour l'ensemble des 3 stations, exprimées en nombre par m3). L'année de référence (1979) est représentée en gris

La figure 6.15 reprend ces deux tendances interannuelles sous forme de courbe mais représente également l'évolution interannuelle de la température de surface moyenne pour l'ensemble des 3 sites de prélèvements. Sur cette figure, on remarque une évolution plutôt similaire, sans décalage, des deux courbes d'abondances des œufs et des larves de sprat de 1991 à 1998. De plus, pour la période 1993 – 2009, cette figure permet également de mettre en évidence que l'évolution des œufs et des larves de sprat suit sensiblement une tendance inversée par rapport à celle de la température de surface.

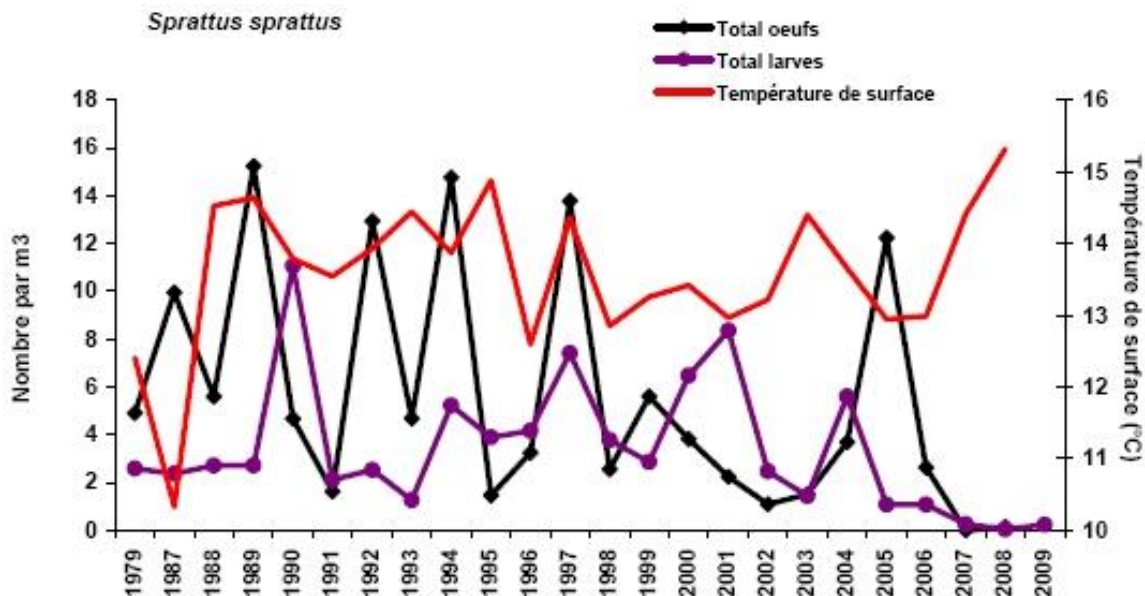


Figure 6.15. Evolutions interannuelles des abondances des œufs et larves et de la température de surface (en °C) au cours de la période d'étude

#### 6.1.2.2.2 La sardine (*Sardina pilchardus*, Walbaum)

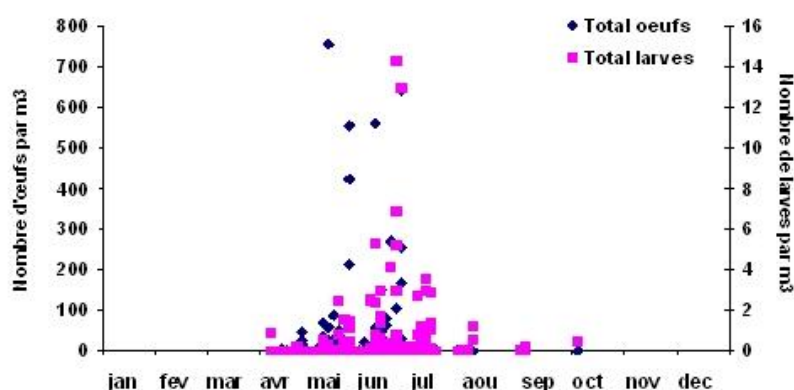
Concernant la sardine, les prélèvements disponibles pour le suivi écologique sont moins nombreux pour l'ensemble de la série temporelle (tableau 6.4). Pour l'année de référence, 1979, seuls les 3 mois d'été ont été échantillonnés (juillet, août et septembre). C'est en 1988 que les prélèvements sont plus nombreux : de juin à octobre. Pour le reste de la série, ils se

concentrent essentiellement sur 3 ou 4 mois de l'année, surtout au printemps (avril à juin ou juillet).

	jan	fev	mar	avr	mai	jun	juil	aoû	sep	oct	nov	dec
1979												
1987												
1988												
1989												
1990												
1991												
1992												
1993												
1994												
1995												
1996												
1997												
1998												
1999												
2000												
2001												
2002												
2003												
2004												
2005												
2006												
2007												
2008												
2009												

**Tableau 6.4. Récapitulatif des prélèvements disponibles pour le suivi écologique de la sardine pour l'ensemble de la série temporelle étudiée**

La figure 6.16 résume les variations saisonnières des densités d'œufs et de larves de sardine à Penly pour l'ensemble de la série temporelle (1979, 1987-2009). La majorité des prélèvements a lieu essentiellement en mai et juin, respectant très bien ici la période de ponte de cette espèce puisqu'on observe les effectifs les plus élevés dans la deuxième quinzaine du mois de mai pour les œufs et le pic de densités des larves survient dans la deuxième quinzaine du mois de juin.



**Figure 6.16. Variations saisonnières des abondances totales d'œufs (en bleu) et de larves (en rose) de sprat à Penly pour l'ensemble des années (1979, 1987-2009)**

Les figures 6.17 et 6.18 représentent l'évolution temporelle des densités d'œufs et des larves de sardine au printemps et en été. La première chose remarquable sur la première de ces deux figures (figure 6.17) est que deux pics d'abondances ont été enregistrés tout au long de la série, contrairement à ce qui a été observé pour les autres espèces. En effet, pour les œufs de sardine, ces pics sont toujours enregistrés à la station du *large*, aux printemps 1993 (250 œufs par m<sup>3</sup>) et 2004 (275 œufs par m<sup>3</sup>) et à l'été 2004 (650 œufs par m<sup>3</sup>).

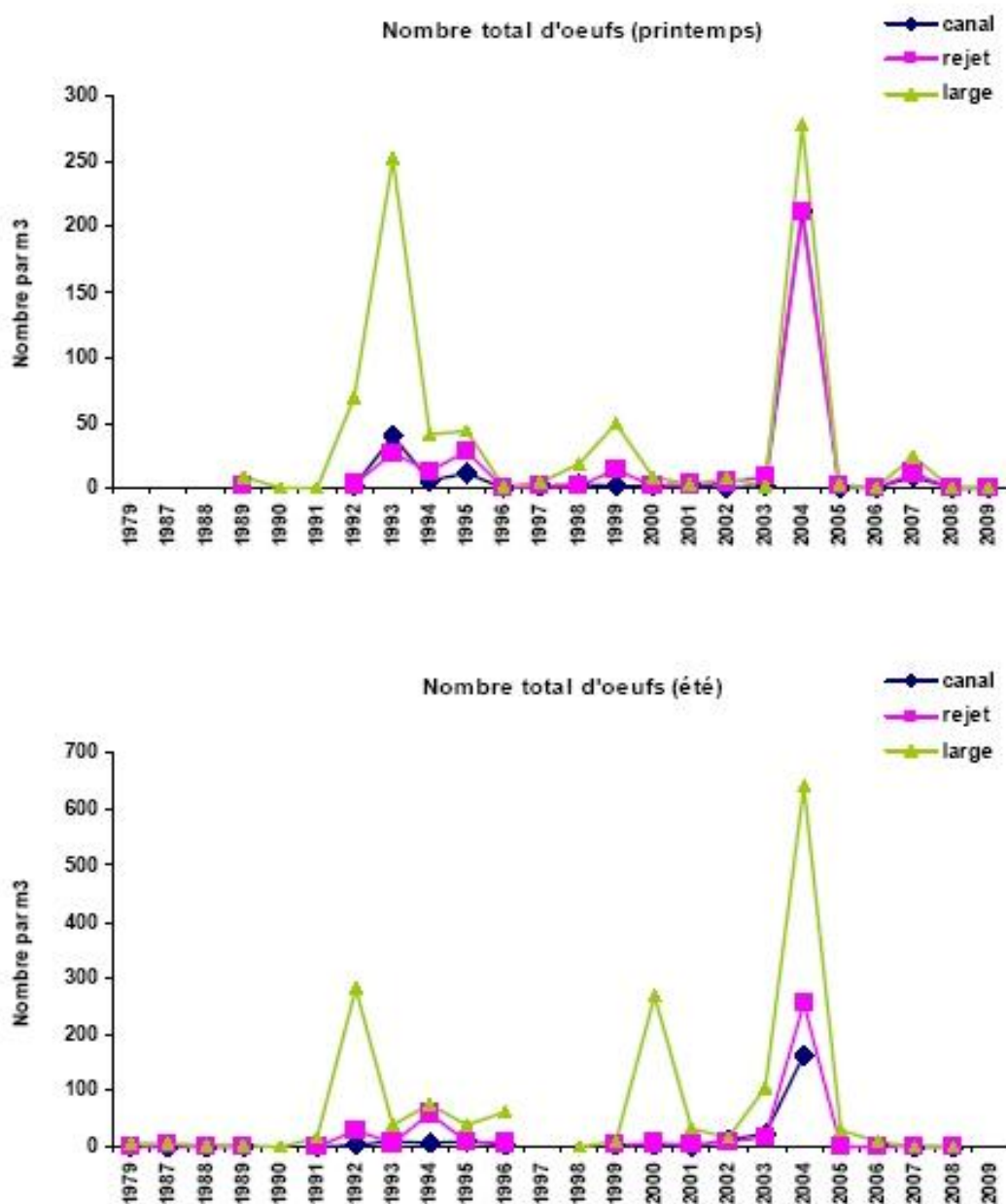
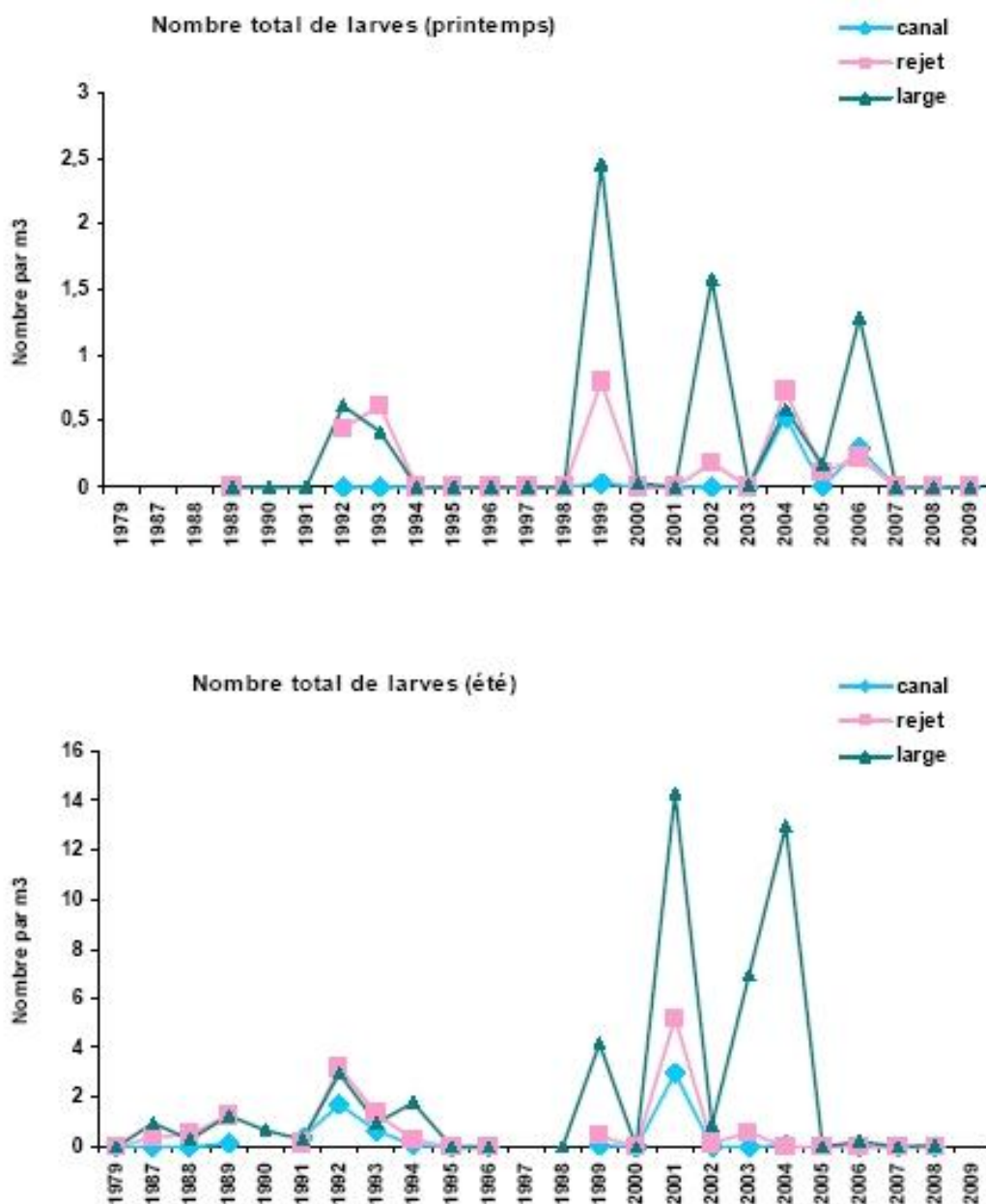


Figure 6.17. Evolution au printemps et en été des abondances totales d'œufs de sardine, aux 3 points de prélèvements, au cours de la période d'étude

Concernant les larves (figure 6.18), on remarque par contre une évolution similaire avec les autres espèces étudiées. Au printemps et en été, les pics les plus élevés sont enregistrés dans la deuxième moitié de la série temporelle et à la station du *large*, mais pas nécessairement aux mêmes années que ceux enregistrés pour les œufs : aux printemps 1999, 2002 et 2006 et aux été 2001 et 2004 où les abondances atteignent 14 larves par m<sup>3</sup>.



**Figure 6.18. Evolution au printemps et en été des abondances totales de larves de sardine, aux 3 points de prélèvements, au cours de la période d'étude**

La figure 6.19 résume les évolutions interannuelles des œufs et des larves de sardine. L'abondance des œufs de sardine est très faible de 1979 à 1991, elle est élevée en 1992 et 1993, diminue sensiblement ensuite pour atteindre un pic maximum en 2004 (281 œufs par m<sup>3</sup>). Ensuite, même si les œufs de sardine montrent en 2007 une légère augmentation en abondance, ces valeurs redeviennent très faibles en 2008 et 2009, voire même une complète disparition des prélèvements, comme ce qui avait été observé en 2005 et 2006.

Les larves de sardine présentent des abondances moyennes de 1987 à 1994 (de 0,5 à 2 larves par m<sup>3</sup>), sont complètement absentes des échantillons de 1995 à 1998 et en 2000. L'abondance maximale des larves de sardine a été enregistrée en 2001 (4 larves par m<sup>3</sup>). Enfin, depuis 2007, aucune larve de sardine n'a été observée dans les échantillons.

**Synthèse hydrobiologique du site du C.N.P.E. de Penly**  
**Chapitre 6 – Le domaine halieutique**

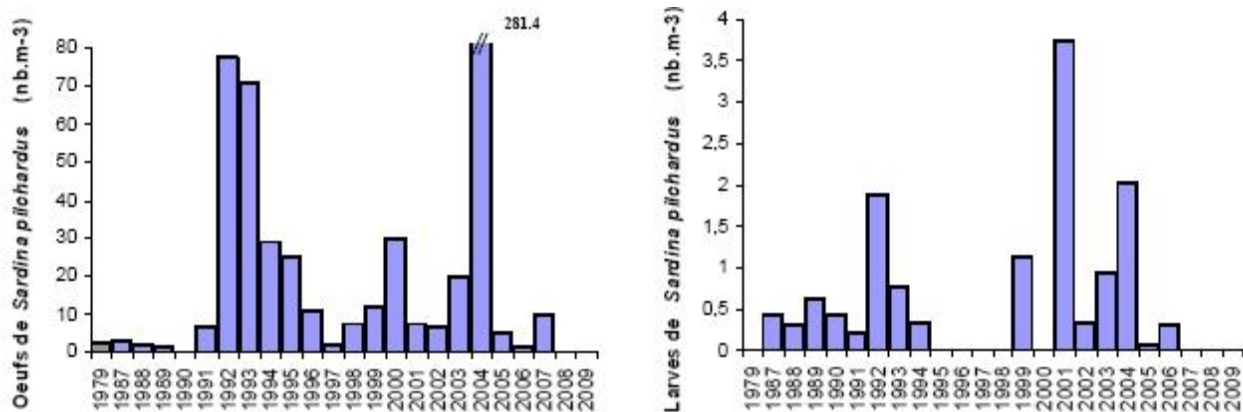


Figure 6.19. Evolution des abondances des œufs et larves de sardine à Penly en 1979 et de 1987 à 2009 (moyenne annuelle et pour l'ensemble des 3 stations, exprimées en nombre par m3). L'année de référence (1979) est représentée en gris

La figure 6.20 reprend ces deux tendances interannuelles sous forme de courbe mais représente également l'évolution interannuelle de la température de surface moyenne pour l'ensemble des 3 sites de prélèvements. Sur cette figure, aucune co-évolution n'est remarquable, que ce soit entre les deux évolutions interannuelles des œufs et des larves de sardine ou avec celle de la température de surface.

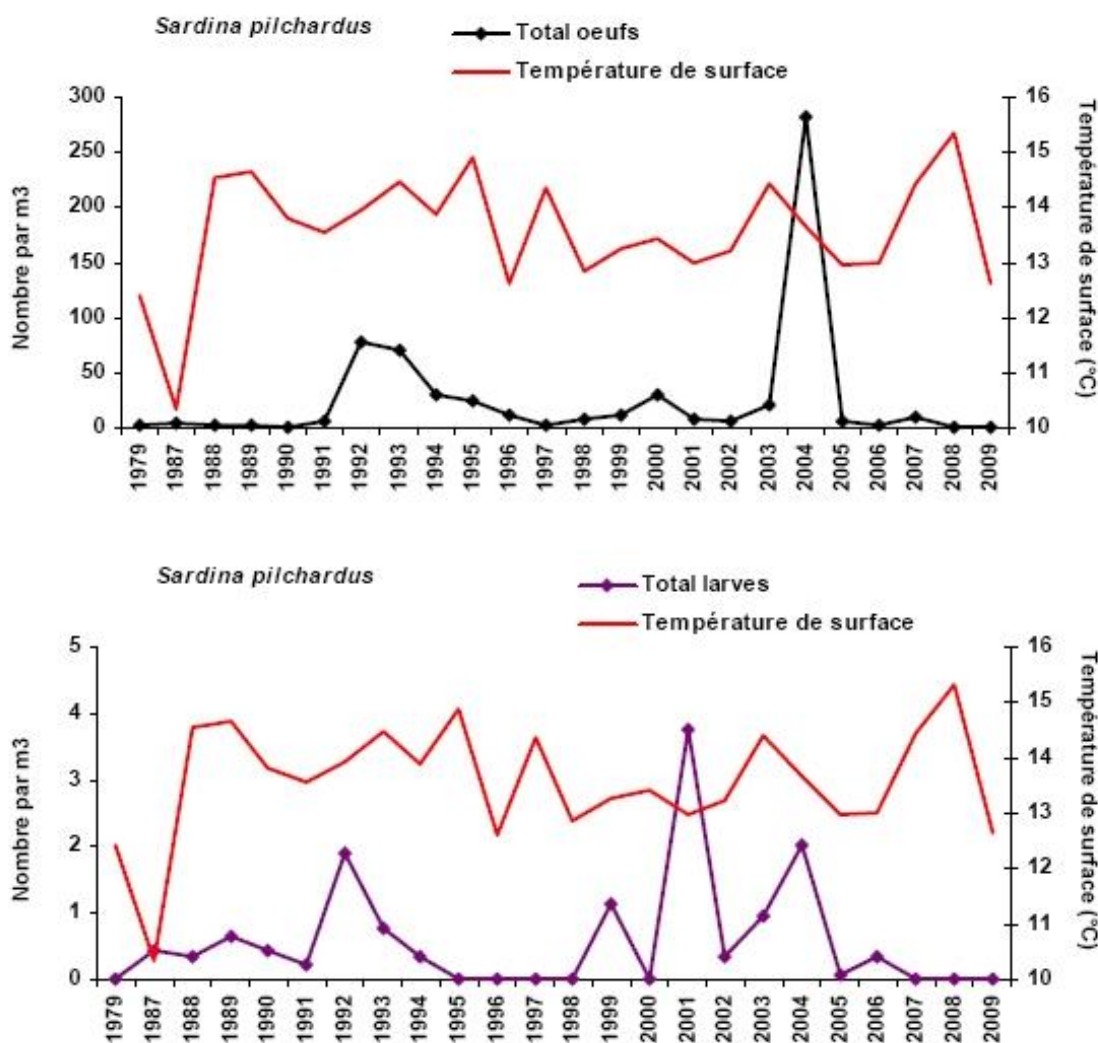


Figure 6.20. Evolutions interannuelles des abondances des œufs et larves et de la température de surface (en °C) au cours de la période d'étude

### **6.1.3 Conclusion**

Pour conclure cette étude de synthèse du suivi écologique de la centrale électronucléaire de Penly sur plus de 20 ans, concernant les œufs et les larves de 4 espèces de poissons, on peut tout d'abord souligner une diminution du nombre de prélèvements au fur et à mesure de la série temporelle et une période d'étude beaucoup plus restreinte dans le temps (le plus souvent sur 2-3 mois) qui ne permet pas toujours de circonscrire la totalité des périodes de ponte des différentes espèces.

Une autre chose remarquable ici concerne la nette diminution des abondances des œufs des différentes espèces étudiées dans la deuxième partie de la série temporelle, et ce changement intervient après les années 1997-1998.

De plus, on remarque également une diminution très nette à la fois des œufs et des larves au cours des 3 dernières années de l'étude. En effet, depuis 2007, on note une diminution importante de l'abondance des œufs de sole, les maxima observés ces trois dernières années sont les plus bas de la série. Les larves de sole présentent aussi des abondances en nette diminution depuis 2005, voire nulles depuis deux ans. Concernant les œufs de limande, l'autre espèce de poisson plat étudiée au site de Penly, même si nous avons observé de faibles densités en 2009, les abondances depuis 2007 sont parmi les plus faibles de la série. Les larves de limande sont absentes des prélèvements depuis 2005. Pour ces deux espèces de poisson plat, contrairement à 2007, il a été possible d'échantillonner durant la période maximale de ponte (première quinzaine de mai) et l'hypothèse d'une mauvaise évaluation pendant cette période importante est donc à écarter : cette tendance semble indiquer une disparition des œufs de sole et de limande de la zone d'étude, les abondances ne montrant pas d'augmentation depuis 2005.

En ce qui concerne les œufs et les larves des autres espèces de poisson étudiées, le constat est sensiblement le même : on observe les plus faibles abondances de la série de 2007 à 2009 pour le sprat (œufs et larves). Même si les œufs de sardine montrent en 2007 une légère augmentation en abondance, ces valeurs redeviennent très faibles en 2008 et 2009, voire même une complète disparition des prélèvements, comme ce qui avait été observé en 2005 et 2006. Dès la fin mai, on n'observe plus (ou rarement) d'œufs de sardine ce qui indiquerait que la période de ponte s'achève vers la fin avril – début mai. Les larves de sardine sont complètement absentes des échantillons depuis 2007, comme cela avait déjà été observé de 1995 à 1998.

Ces constatations sur une période de ponte semble t-il plus précoce devraient nous amener à envisager la possibilité de commencer la surveillance des espèces ichthyoplanctoniques dès le mois de mars afin de couvrir au mieux la période de reproduction de la sole, de la limande, du sprat et de la sardine. De telles dispositions ont déjà été prises plus au nord pour la surveillance du site de la centrale de Gravelines où une précocité de la période de ponte de la sole et du sprat avait également été observée.

## **6.2 Ressources et activités halieutiques**

### **6.2.1 Contexte général et méthodologie d'étude**

#### **6.2.1.1 Grands aménagements, usages et impacts sur le littoral voisin du site de Penly - baie de Somme**

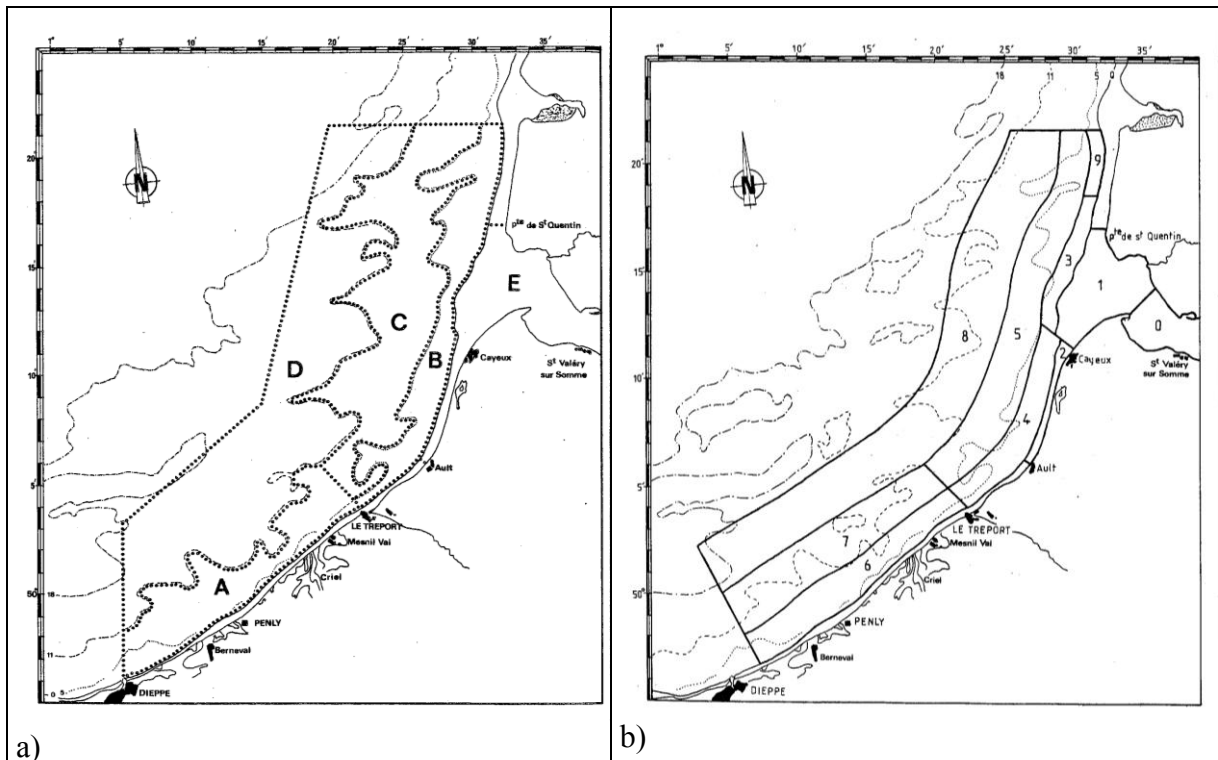
La construction de la centrale de Penly, ainsi que d'autres aménagements littoraux, ont pu avoir un impact physique sur le milieu. On peut citer l'extension des jetées du port de Dieppe liée à l'implantation d'une passerelle de car ferry, l'exploitation des galets pour la fabrication de silicates, l'extraction de granulats au large de Dieppe, certaines pratiques de pêche comme l'usage du chalut à dents, l'implantation de bouchots à moules au nord de la baie de Somme. Tous ces usages ont pu avoir un impact sur l'écosystème côtier, tant des points de vue courantologiques et sédimentologiques que des habitats benthiques et halieutiques. Ces types d'impact, bien que très difficiles à mesurer, doivent rester présents à l'esprit.

#### **6.2.1.2 Phasage des études et stratégie d'échantillonnage**

**Des études d'avant-projet** ont été menées avant le démarrage des travaux de construction de la centrale de Penly. Ces études ont permis de mettre en évidence le rôle économique non négligeable de l'activité halieutique dans le secteur compris entre Dieppe et le Tréport, ainsi qu'une fonction biologique importante de nourricerie pour les poissons plats (sole, plie, limande) dans un secteur allant de Dieppe à la baie d'Authie.

**L'étude de projet (1978-79)** qui a suivi, avait pour objectifs de compléter la connaissance du rôle de cette zone dans l'économie halieutique locale et de préciser la fonction de nourricerie de ce secteur côtier pour les juvéniles de poissons. Une méthodologie de travail a été établie définissant la zone à échantillonner, le protocole d'échantillonnage et les observations à effectuer sur les espèces capturées.

Un inventaire faunistique a été entrepris dans une zone plus vaste que celle devant être, *a priori*, touchée par la tache thermique, afin d'inclure la totalité du secteur de nourricerie. Cette zone s'étend de Dieppe à la baie d'Authie et est limitée vers le large par la sonde des 15m, correspondant à une distance de 5-6 milles de la côte. Les prospections ont été menées à l'aide de chaluts à perche standards de petit maillage (20mm étiré) habituellement utilisés dans les secteurs côtiers et estuariens, en s'appuyant sur une méthodologie validée au niveau international. Les stations ont été prospectées en suivant un plan d'échantillonnage stratifié. Deux types de stratifications ont été définis pour les calculs des indices d'abondances : un pour les poissons et invertébrés commerciaux et un spécifique pour la crevette grise (figure 6.21).



**Figure 6.21 : Zone d'étude et stratifications utilisées pour les calculs d'indices d'abondance en poissons (a) et en crevette grise (b)**

Une première série de 5 prospections a été réalisée en 1978, entre mai et octobre, à l'aide d'un chalut à perche de 3 mètres (CP3) afin d'appréhender les variations saisonnières d'abondance des différentes espèces dans la période comprise entre l'arrivée des juvéniles en secteur de nurricerie côtière et leur éventuel déplacement hivernal.

A partir de 1979, le programme d'échantillonnage a été allégé pour ne conserver que deux campagnes, une au printemps-début d'été et l'autre à l'automne. Un deuxième engin, un chalut à perche de 2 m (CP2) de maillage 20 mm étiré a été utilisé pour améliorer l'échantillonnage des zones peu profondes de l'intérieur de la baie de Somme. La méthodologie de travail a été stabilisée lors de cette deuxième année de l'étude de projet.

Les premiers résultats ont permis de déterminer, parmi les espèces exploitées dans la région, celles que l'on peut rencontrer dès la phase juvénile (groupes 0 et 1), d'appréhender leur distribution spatio-temporelle et de préciser le rôle de la zone de Penly en tant que nurricerie. Il ressort que pour la plupart des espèces exploitées commercialement, la baie de Somme et ses abords immédiats jouent un rôle très important. Les jeunes individus apparaissent en priorité sur cette zone avant d'occuper ensuite un secteur plus vaste. La zone avoisinant le site de Penly constitue la partie occidentale d'une importante nurricerie incluant la baie de Somme mais aussi très certainement, bien que les observations n'aient pas été étendues jusque-là, les baies d'Authie et de Canche.

Le rôle de nurricerie de la zone comprise entre Dieppe et Le Tréport, incluant le site de Penly, se révèle surtout important pour trois espèces : la sole, la limande et le tacaud. Les juvéniles de plie et la crevette grise, abondants dans nos prospections, y sont peu observés en raison de leur préférence marquée pour la zone estuarienne de la baie de Somme.

L'étude de projet a permis de disposer, pour les espèces échantillonnées sur l'ensemble de la zone d'étude, d'indices d'abondance qui constituent des valeurs indicatives des niveaux



d'abondance. La variabilité inter-annuelle est en effet importante en secteur de nourriceries, tout particulièrement pour les abondances de juvéniles de poissons.

Comme pour nombre de phénomènes biologiques, il est apparu nécessaire de conforter ces premiers résultats par un plus grand nombre d'observations et l'établissement de séries historiques. Cette démarche a fait l'objet des études ultérieures, la série historique ainsi constituée pouvant ainsi être comparée avec celles d'autres secteurs et prise en compte dans les travaux des groupes d'évaluation du Ciem (WGSSK).

Electricité de France a permis la poursuite de l'étude de la nourricerie de poissons plats au-delà des études de Projet, par une phase d'**étude complémentaire** qui s'est déroulée de 1980 à 1984. Pendant cette période les deux campagnes annuelles ont été réalisées.

Après un arrêt des études en 1985 et 1986, une **étude de surveillance** a été mise en place en 1987, soit deux ans avant la date prévue de mise en fonctionnement de la centrale. L'étude de **surveillance 1<sup>er</sup> phase** s'est déroulée jusqu'en 1989. Seule la campagne d'automne a été maintenue. L'abandon de la campagne de printemps a été justifié par le fait qu'à cette période de l'année, les juvéniles de poissons plats nés dans l'année (groupe 0), qui nous intéressaient tout particulièrement dans cette étude, étaient très peu présents dans les captures expérimentales.

En 1990, avec la mise en service de la centrale (fin d'année), a démarré l'étude de **surveillance 2<sup>ième</sup> phase** avec une campagne annuelle d'automne, étude poursuivie jusqu'à ce jour.

### **6.2.2 Contexte de la pêche côtière et ses évolutions**

Le rôle du secteur de Penly dans l'économie halieutique régionale a été étudié pendant les phases d'avant projet et de projet. Les sources principales d'informations proviennent des services des Affaires Maritimes et du système national de traitement des statistiques de pêche. Elles concernent les données administratives, les données déclaratives (journaux de bord et fiches de pêche) et les ventes sous criées (Dieppe). L'essai de collecte de données par enquêtes directes au travers de carnets de pêche n'a pas abouti.

Il faut garder à l'esprit que, si les indicateurs de l'activité halieutique se sont beaucoup améliorés ces dernières années, ils restent encore largement imprécis pour décrire l'activité dans un petit secteur côtier. De plus, l'évolution de leur qualité dans le temps peut introduire des biais et rendre difficile les analyses temporelles. Les ressources marines ont, enfin, la propriété d'être mobiles et fluctuantes, les pêches sont le plus souvent saisonnières, les navires polyvalents et les stratégies des pêcheurs évoluent rapidement. La capacité de capture a aussi beaucoup augmenté avec l'arrivée de l'hydraulique, des systèmes de positionnement précis (GPS) et des aides à la navigation (pilote automatique, tables vidéo).

#### **6.2.2.1 Les navires**

Deux quartiers maritimes sont particulièrement concernés par le site étudié, il s'agit de ceux de Dieppe et de Boulogne. Dans cette étude ont été pris en compte l'ensemble des navires du Quartier de Dieppe et ceux de la Baie de Somme (partie du quartier de Boulogne). Les ports concernés sont Dieppe (auquel se rattachent les petits ports d'échouage de Quiberville et de Pourville), Le Tréport, Cayeux-Le Hourdel (qui est passé du quartier de Dieppe à celui de Boulogne au début de l'année 1986), Saint Valéry sur Somme et le Crotoy. L'aménagement du port de pêche du Tréport (1991) a fortement dynamisé l'activité de ce lieu. Le tableau 6.5 dresse un état des effectifs et des caractéristiques techniques des navires depuis les années 70.

**Synthèse hydrobiologique du site du C.N.P.E. de Penly**  
**Chapitre 6 – Le domaine halieutique**

Indicateurs	Ports	1975	1979	1985	1990	1995	2001	2005	2008
Nb navires	Dieppe <sup>(1)</sup>	90	93	92	89	87	48	50	44
	Le Tréport	28	33	28	26	20	47	38	43
	Cayeux – Le Hourdel	15	15	13	17	17	18	11	10
	St Valéry s/Somme	20	17	13	7	5	1	2	1
	Le Crotoy	30	31	27	25	28	2	7	5
	Total	183	189	173	164	157	116	108	103
Puissance moyenne (KW)	Dieppe <sup>(1)</sup>	155	160	194	227	220	307	271	261
	Le Tréport	150	130	187	226	253	203	178	182
	Cayeux – Le Hourdel	45	55	69	70	63	86	66	72
	St Valéry s/Somme	45	50	60	60	74	7	54	37
	Le Crotoy	80	80	82	119	129	74	67	29
	Total	121	123	156	187	186	224	200	196
Puissance totale (KW)	Dieppe <sup>(1)</sup>	13950	14880	17848	20203	19140	14736	13550	11486
	Le Tréport	4200	4290	5236	5876	5060	9535	6765	7838
	Cayeux – Le Hourdel	675	825	897	1190	1071	1544	720	716
	St Valéry s/Somme	900	850	780	420	370	7	107	37
	Le Crotoy	2400	2480	2214	2975	3612	147	466	144
	Total	22125	23325	26975	30664	29253	25969	21608	20221
Longueur moyenne (m)	Dieppe <sup>(1)</sup>	NA	NA	14.9	14.8	14.4	16.3	15.9	15.1
	Le Tréport	NA	NA	13.4	14.4	15.0	13.2	12.4	12.7
	Cayeux – Le Hourdel	NA	NA	9.0	8.8	8.1	9.4	8.5	8.9
	St Valéry s/Somme	NA	NA	9.0	8.5	9.0	4.6	7.9	5.0
	Le Crotoy	NA	NA	10.2	10.8	10.9	8.4	8.1	5.0
	Total	NA	NA	13.0	13.2	13.0	13.7	13.3	12.9

(1) inclut les petits ports d'échouage proches (Saint Aubin, Quiberville, Pourville)

\*Certains chiffres issus de données graphiques ont été volontairement arrondis.

**Tableau 6.5 : Effectifs et caractéristiques des navires**

L'état des lieux dressé dans les années 70 et 80 ne sera pas repris dans le détail. Seuls les faits marquants depuis cette période sont présentés ici. L'évolution de l'activité halieutique est caractérisée par une diminution importante du nombre de navire et de leur taille, contrebalancée par une augmentation de la puissance moyenne. Si le nombre de navires diminue de près de 50 %, la puissance totale augmente fortement jusqu'au début des années 90 pour revenir ensuite à un niveau proche de celui du début des années 70. La longueur moyenne des navires reste stable.

Les chalutiers de pêche industrielle de Dieppe ont disparu au profit de la pêche artisanale. La pratique du chalutage, qui était dominante en début de période, fait place à une augmentation importante des arts dormants avec, au niveau du Tréport, un fort développement du trémail à sole et l'apparition du caseyage à seiche. Le développement du chalut à dents est observé à partir du milieu des années 80. Cette pratique contribue certainement à une augmentation globale de l'effort de pêche dans la zone côtière.

En parallèle, il faut noter la diminution de la contribution de la baie de Somme à la flottille de pêche. Il n'existe actuellement pratiquement plus d'unités de pêche au Crotoy ou à Saint Valéry, seule une activité crevettière persiste à Cayeux–Le Hourdel. Les causes de cette évolution sont multiples : ensablement de la baie, diminution des activités traditionnelles comme celle de la pêche à la crevette grise, augmentation de la taille des navires et attractivité du port du Tréport. Cette attractivité est due à la fois à une accessibilité accrue par rapport à l'heure de la marée ainsi qu'aux infrastructures disponibles. La diminution de l'activité crevettière peut être illustrée par le fait que les crevettiers de l'estuaire de Seine ne

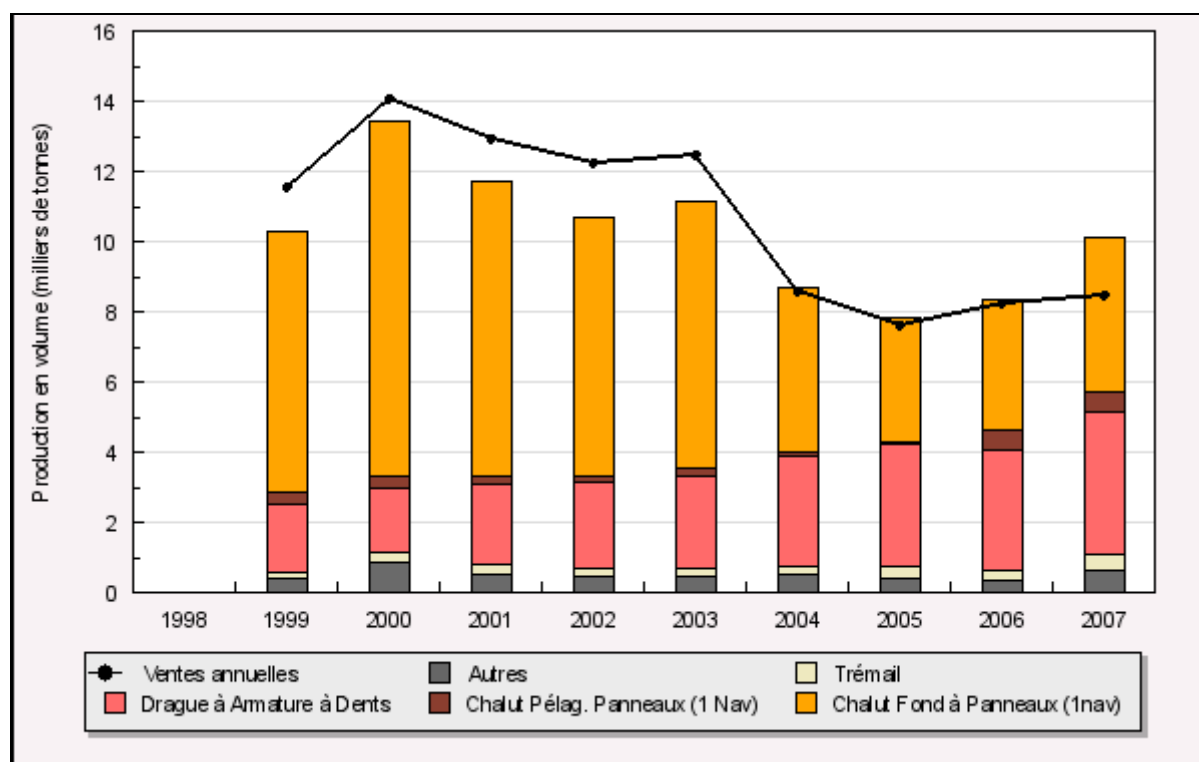
remontent plus au printemps devant le Tréport et la Baie de Somme comme ils le faisaient dans les années 70 alors que la ressource en Baie de Seine avait chuté.

Ces fortes évolutions des flottilles se font dans un contexte de pression réglementaire de plus en plus forte avec l'apparition des limitations des nombres de navires (permis de mise en exploitation (PME), plan d'orientation pluriannuels (POP)) et de quotas de plus en plus restrictifs.

### 6.2.2.2 Les productions

L'étude de projet a montré, dans les années 70, l'importance de la coquille Saint-Jacques et des espèces de poissons démersaux pour le port de Dieppe, du hareng et de ces mêmes espèces démersales pour le Tréport et enfin du hareng, de la crevette grise et des poissons plats pour les ports de la Baie de Somme.

Un graphique de synthèse de l'évolution des débarquements du quartier de Dieppe, par engin de pêche, permet de situer la période récente par rapport à l'ensemble des années 1999-2007 (figure 6.22).



**Figure 6.22 : Evolution des captures déclarées, par engin, des navires rattachés au quartier de Dieppe (source Ifremer, SIG Halieutique)**

Ce graphique indique un tassement des productions et une importance grandissante des apports de coquille Saint-Jacques. Pour le quartier de Boulogne la même approche est trop globale pour mettre en évidence la contribution minimale des ports de la Baie de Somme.

Ce type d'approche, par port, présente des limites. Certains navires, basés plus au nord (Boulogne), peuvent en effet descendre au niveau du secteur de Penly alors que d'autres navires, basés plus au sud, peuvent y monter. Cela peut être illustré par des activités saisonnières comme celles des trémailleurs boulonnais qui viennent pêcher la sole devant la Baie de Somme ou des chalutiers de Baie de Seine qui viennent chaluter la seiche dans la

zone côtière entre Dieppe et le Tréport. De plus, les navires locaux peuvent eux-même se déplacer et les plus gros travailler au large.

### 6.2.2.3 L'activité halieutique dans la zone de Penly

Une zone située entre Dieppe et Le Tréport et s'étendant jusqu'à 6 milles des côtes a été prise en compte lors de l'étude de Projet. Des chalutages d'étude ont été menés dans ce secteur, chaluts à sole et cascadeur ont été mis en œuvre d'août 1978 à juin 1980 à partir de navires professionnels. Un calendrier des captures a pu être dressé.

La production provenant de cette zone avait été estimée à 850 tonnes en 1979, représentant environ 10 % des apports du quartier de Dieppe. Il est difficile de comparer cette situation à celle d'aujourd'hui. Comme indiqué précédemment, les pratiques de pêche ont changé. Le chalutage, qui était dominant, a fait place aux arts dormants (trémailleurs à sole et caseyeurs à seiche) et le fileyage dérivant à hareng a complètement disparu.

### 6.2.2.4 Espèces soumises à quotas

L'approche « ressource » - ie l'état d'exploitation des stocks halieutiques – permet de compléter la vision obtenue au travers de l'activité des navires.

L'étude de projet a permis d'identifier les ressources importantes de l'économie halieutique locale parmi lesquelles on peut distinguer :

- les poissons démersaux (gadidés [merlan, cabillaud, tacaud], poissons plats [sole, plie, limande], grondins et raies),
- les poissons pélagiques (maquereau et hareng),
- les mollusques céphalopodes (encornet, seiche),
- les mollusques bivalves (coquille Saint-Jacques),
- les crustacés (crevette grise).

La gestion des ressources les plus importantes en poissons est réalisée par le système dit "des TACs et Quotas". Ce système est basé sur une évaluation scientifique annuelle de l'état des stocks menée au niveau du CIEM<sup>16</sup>. Un diagnostic et des scénarios de gestion sont proposés par des groupes de travail (dit Groupes de travail d'évaluation) et formalisés par l'ACOM<sup>17</sup>. Ils sont ensuite discutés au niveau politique, la décision finale appartenant à la Commission Européenne (Conseil des Ministres de la Pêche de décembre).

Parmi les espèces citées comme importantes pour l'économie halieutique locale, sont soumises à quotas la sole, la plie, le cabillaud et le hareng dont les diagnostics 2008, présentés sous forme de fiches (fig. 3, 4, 5 et 6), sont issus des travaux du CIEM (<http://www.ices.dk>), source Ifremer, site Web La pêche (<http://www.ifremer.fr/peche>).

Pour une meilleure compréhension de ces fiches, quelques éléments de lecture sont indiqués. Lorsque les stocks font l'objet d'une évaluation analytique par un groupe d'experts internationaux, celle-ci est présentée au travers de l'évolution des principaux indicateurs : quantité de reproducteurs appelée aussi biomasse féconde (B ou SSB en anglais), mortalité par pêche (F), recrutement (R).

L'état des stocks est donné par rapport à des points de référence préalablement définis et agréés, comme par exemple, Bpa ou Blim pour la biomasse féconde, Fpa ou Flim pour la

<sup>16</sup> CIEM : Conseil International pour l'Exploration de la Mer

<sup>17</sup> ACOM : Comité d'avis du CIEM

mortalité, et plus récemment Frmd pour rechercher l'objectif de « rendement maximal durable » tel que demandé par la conférence de Johannesburg (2002)<sup>18</sup>.

Blim correspond à une biomasse féconde au-dessous de laquelle, soit on ne sait pas ce qui peut se passer pour le stock (parce qu'on se trouve dans les plus bas historiques), soit la capacité du stock à se reproduire est significativement affectée. Le stock est alors considéré comme étant en danger. Bpa correspond à une biomasse féconde dite « de précaution », au-dessous de laquelle le stock se situe dans une zone « tampon ». Puisque l'évaluation est assortie d'une incertitude, être dans la zone « tampon » ne garantit pas à 95% que la biomasse d'un stock est supérieure à son point de référence Blim.

Flim correspond à une mortalité au-dessus de laquelle, soit on ne sait pas ce qui peut se passer pour le stock (parce qu'on se trouve dans les plus hauts historiques), soit ce niveau a déjà démontré par le passé affecter durablement l'état du stock. Le stock est alors considéré comme étant en danger. Comme pour Bpa, Fpa correspond à une mortalité au-dessus de laquelle le stock se situe dans une zone « tampon » due à l'incertitude de l'évaluation. Il existe d'autres points de référence pour la mortalité par pêche. On peut citer Fplan pour servir un objectif de mortalité dans le cas d'un plan de restauration, et Frmd pour servir les objectifs d'une pêche durable.

Pour les autres stocks qui ne font pas l'objet d'une évaluation analytique, des appréciations qualitatives sont présentées.

Précisions sur les couleurs utilisées dans les graphiques et tableaux suivants :

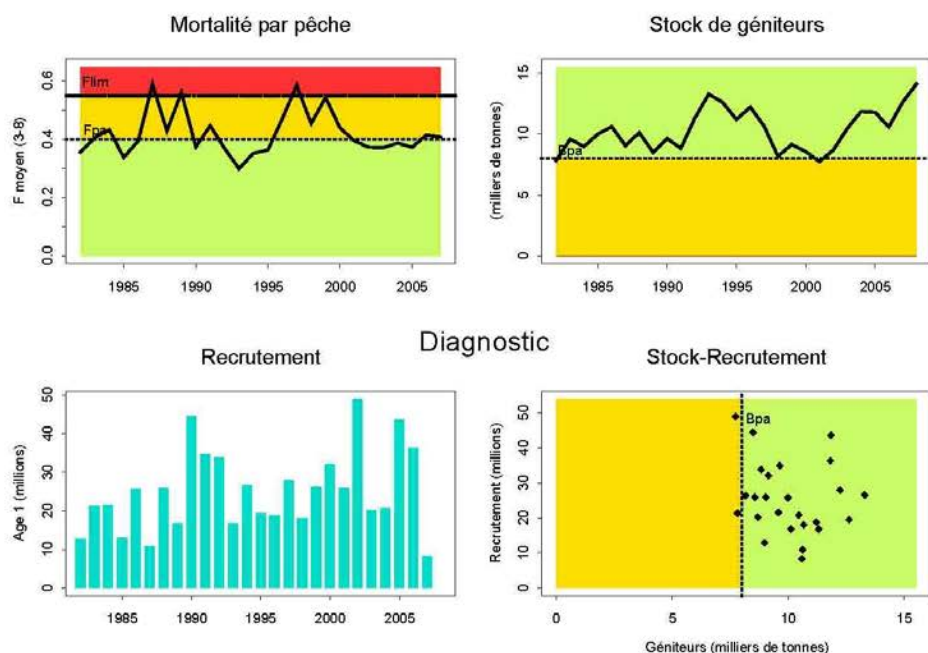
- La couleur rouge signifie que la biomasse estimée  $B < \text{Biomasse de référence Blim}$  **ou** que la mortalité estimée  $F > F$  de référence Flim. Le stock est potentiellement en danger ;
- La couleur verte signifie que la biomasse estimée  $B > \text{Biomasse de référence Bpa}$  **et** que la mortalité estimée  $F > F$  de référence Fpa. Le stock est considéré comme exploité dans ses limites de sécurité ;
- La coloration orange correspond à la zone « tampon » pour laquelle il subsiste une incertitude du point de vue de l'évaluation. Le stock est alors considéré comme sur-exploité.

<sup>18</sup> <http://www.agora21.org/johannesburg/rapports/onu-joburg.pdf>

6.2.2.4.1 La sole

**Sole de Manche Est**

Pêcheries du plateau continental et des eaux côtières  
 Principaux métiers : filets et chaluts de fond à sole  
 La France contribue à près de la moitié des débarquements totaux.



<sup>2008</sup>  
 (source CIEM 2008)

sole7 d

Le stock est (largement) dans ses limites de sécurité en ce qui concerne la quantité de géniteurs, mais la mortalité par pêche estimée pour 2007 est légèrement supérieure à  $F_{pa}$ . Les recrutements récents apparaissent plutôt forts.

B2008/Bpa	Tendance B	F2007/Fpa	Tendance F	F2007/Fmax	F2007/F0.1	F2007/Fplan
1.76	↗	1.02	→	?	4.1	sans objet

L'estimation du point  $F_{max}$  est très imprécise compte tenu de la l'allure de la courbe de rendement par recrue.

Avec le diagramme d'exploitation actuel, le taux d'exploitation 2007 est très supérieur à la mortalité par pêche ( $F_{0.1}$ )<sup>1</sup>.

NB. Les indicateurs pour ce stock sont peu précis ; malgré une amélioration il existe toujours des problèmes de mauvaises (ou de sous) déclarations de captures.

Les rejets sont faibles voire très faibles.

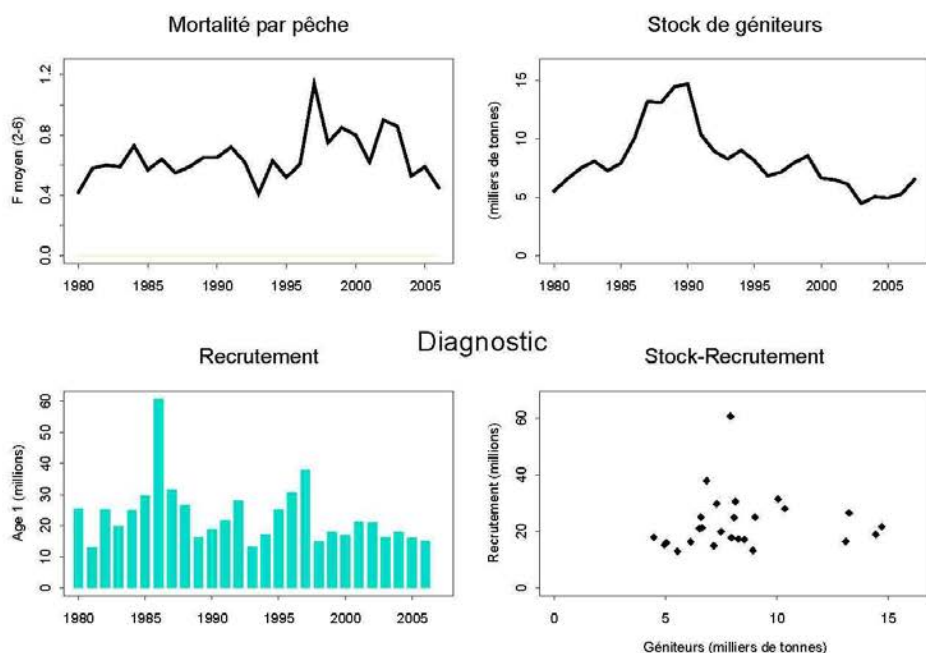
<sup>1</sup> Le CIEM considère que la mortalité par pêche qui permettrait une production à long terme élevée et un faible risque d'effondrement des capacités reproductives du stock se situe dans l'intervalle  $[F_{0.1} - F_{pa}]$

**Figure 6.23 : Diagnostic sur le stock de sole de Manche Est**

6.2.2.4.2 *La plie*

**Plie de Manche Est**

Pêcheries du plateau continental et des eaux côtières  
 Principaux métiers : filets et chaluts de fond à sole (capture accessoire)  
 La France contribue à la moitié des débarquements totaux.



2007  
 (source CIEM 2008)

La situation du stock reste assez imprécise compte tenu des incertitudes sur les données utilisées, mais les tendances montrent une baisse de la quantité de géniteurs qui se situe proche du niveau le plus bas de la période étudiée (depuis 1980).

B2008/Bpa	Tendance B	F2007/Fpa	Tendance F	F2007/Fmax	F2007/F0.1	F2007/Fplan
0.8	↘+	1.2	↘	?	?	sans objet

NB. La plie est rarement considérée comme une espèce cible, mais pêchée comme capture accessoire des fileyeurs à sole et des chalutiers ciblant des espèces démersales.  
 Comme la plupart des autres stocks de plie, la délimitation des zones de stock suscite encore des interrogations. Les captures (débarquements) et les campagnes scientifiques donnent des perceptions différentes de l'évolution du stock.  
 Les rejets sont très élevés et non pris en compte dans l'analyse.

**Figure 6.24 : Diagnostic sur le stock de plie de Manche Est**

**6.2.2.4.3 Le cabillaud**

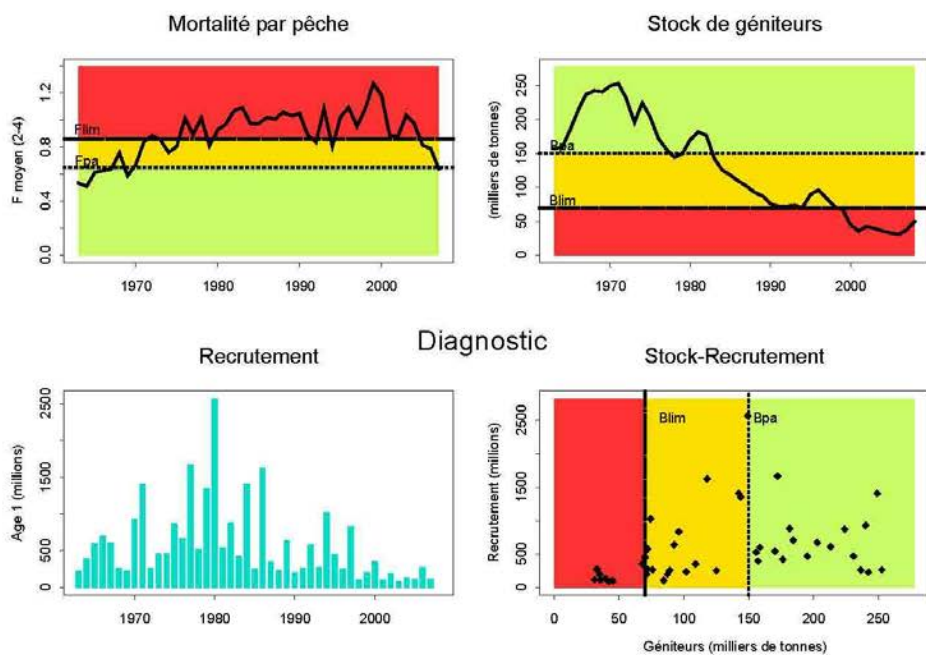
**Morue de Mer du Nord et Manche Est**

Pêcheries du plateau continental et des eaux côtières (surtout en Manche est)

Principaux métiers : chalut démersal à gadidés et filets à gadidés

NB. La morue constitue une espèce cible/recherchée/importante lorsqu'elle est abondante.

La France contribue très faiblement aux débarquements totaux.



2008  
 (source CIEM 2008 – représentation des médianes seulement)

Le stock est très en dehors des limites de sécurité en ce qui concerne la biomasse des géniteurs.

La biomasse de géniteurs a été divisée par presque 8 entre 1968 et 2006.

Les recrutements depuis 1998 sont inférieurs à la moyenne.

La mortalité 2007 (notée  $F_{2007}$ ) se rapporte ici à l'ensemble des prélèvements effectués sur le stock (supposés par la pêche). Elle est estimée en forte baisse depuis la fin des années 1990.

B2008/Bpa	Tendance B	F2007/Fpa	Tendance F	F2007/Fmax	F2007/F0.1	F2007/Fplan
0.33	↘ +	0.98	↘	3.2	4.8	1.6

La situation par rapport au RMD est peu précise<sup>1</sup> mais de toute évidence le stock est très largement surexploité.

NB. Il existe de fortes incertitudes sur les débarquements récents et sur les rejets ; le modèle utilisé reconstitue l'ensemble des 'prélèvements' (supposés être des captures). L'évaluation est basée sur les campagnes scientifiques.

<sup>1</sup> les points de référence à long terme ( $F_{max}$  et  $F_{0.1}$ ) ont été estimés avec le diagramme d'exploitation de 2004.

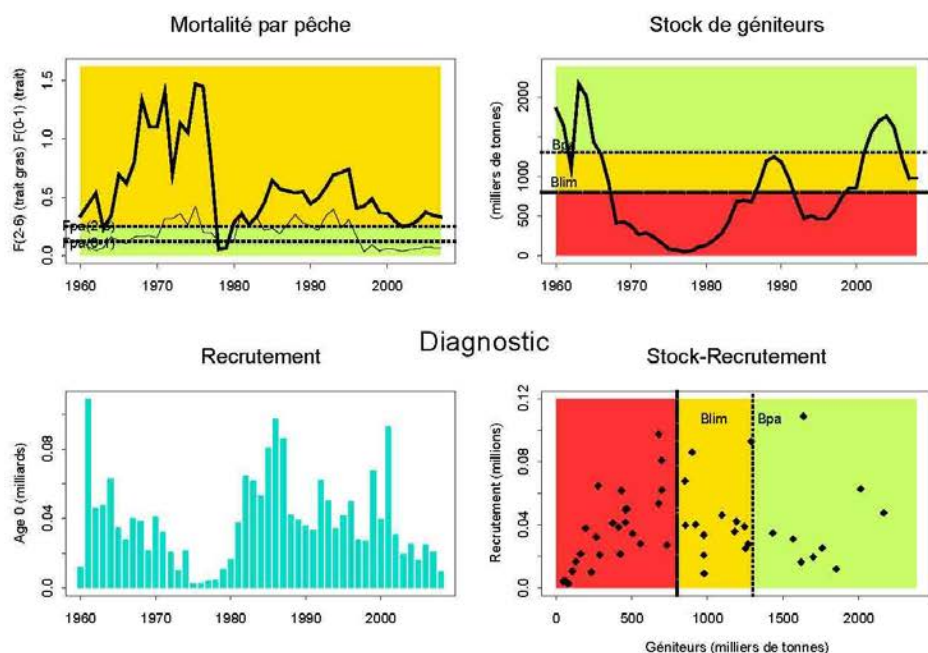
**Figure 6.25 : Diagnostic sur le stock de cabillaud de Manche Est et Mer du Nord**



6.2.2.4.4 Le hareng

**Hareng de Mer du Nord**

Pêcheries pélagique du plateau continental et démersale du plateau et des eaux côtières  
 Principaux métiers : chalut pélagique ciblant le hareng et chalut de fond 'mixtes'  
 La France contribue très faiblement aux débarquements totaux.



2008

(source CIEM 2008)

Le stock est considéré en dehors de ses limites de sécurité.  
 Le stock de géniteurs, après un pic en 2003-2004 a chuté et est estimée en dessous de la valeur du seuil de précaution. La mortalité par pêche est globalement en baisse depuis une quinzaine d'années, mais reste à un niveau supérieur à celui du seuil de précaution. Les recrutements récents (depuis 2002) sont les plus faibles depuis le début des années 1980.

B2008/Bpa	Tendance B	F2007/Fpa	Tendance F	F2007/Fmax	F2007/F0.1	F2007/Fplan
0.75	↘	1.33	↘	0.8	2.8	0.6 juvéniles 1.9 adultes

Le taux d'exploitation fixé dans le cadre du plan de gestion (0.25 dans la situation actuelle) est considéré comme étant trop élevé. Le CIEM recommande d'adopter une mortalité par pêche sur les adultes de 0.16, assez proche de la valeur de F0.1 (0.12).

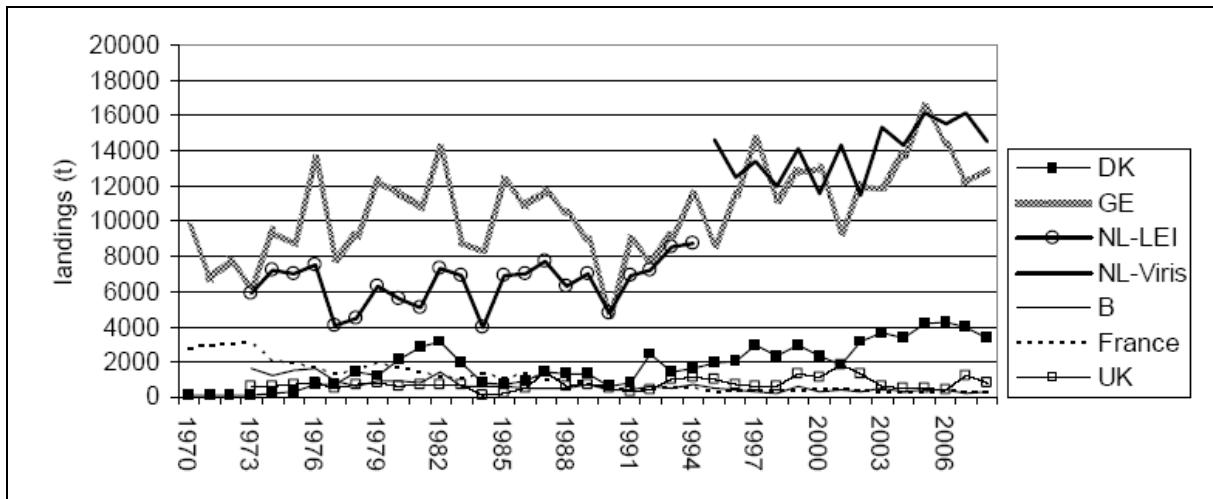
Figure 6.26 : Diagnostic sur le stock de hareng de Mer du Nord

### 6.2.2.5 Espèces non soumises à quota, le cas de la crevette grise

D'autres modes de gestion sont utilisés pour les ressources non soumises à quotas. Il peut s'agir de gestion au niveau communautaire (TAC dit de précaution, d'encadrement général au travers des mesures techniques (maillage par ex.), de gestion de l'effort de pêche (PME, POP, KW/jour) ou de gestion locale opérée par les structures professionnelles (licences de pêche, etc.).

Les mollusques céphalopodes (encornet, seiche), les mollusques bivalves (coquille Saint-Jacques) et les crustacés (crevette grise) entrent dans cette catégorie d'espèces non soumises à quotas.

La crevette grise est suivie par un groupe de travail du Ciem (WGCRAN). La figure 6.27 présente les captures européennes, elles concernent essentiellement la mer du Nord et, dans une moindre mesure, la Manche Orientale. La production maximale a été atteinte en 2005 avec 37 000 tonnes, elle a ensuite un peu diminué avec 32 000 tonnes en 2008. La Hollande et l'Allemagne réalisent la quasi-totalité des captures avec environ 15 000 tonnes chacun. La production française, qui concerne surtout la Manche orientale, est faible et a régressé fortement sur la série historique. Il en est de même pour la production Belge.



**Figure 6.27 : Débarquements européens de crevette grise (Danemark, Allemagne, Hollande, Belgique, France, Royaume Uni)**

La crevette grise est une espèce emblématique de la baie de Somme, la réduction des débarquements français s'y fait fortement sentir comme le montre le graphique (figure 6.28). Mais une diminution du même ordre s'est déroulée en estuaire Seine (figure 6.29).

La production a chuté en 1990, comme au niveau européen, mais elle n'est pas remontée depuis. Cette baisse de la production est analysée comme une diminution d'abondance de l'espèce, les causes n'en sont pas claires alors que l'abondance se maintient en mer du Nord.

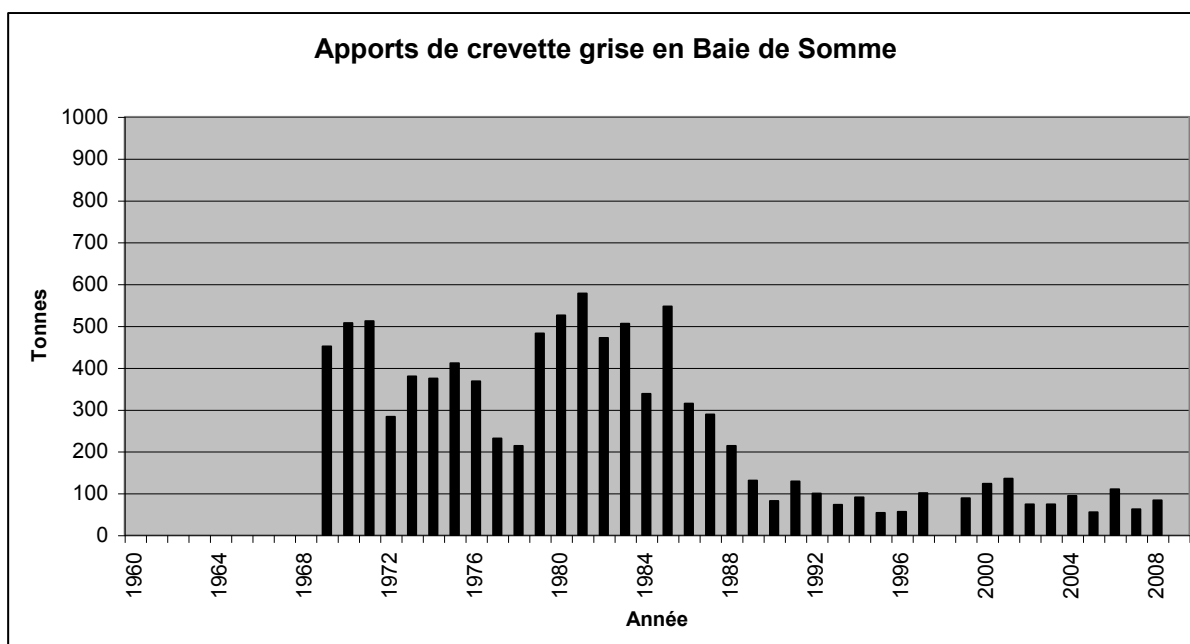


Figure 6.28 : Production de crevette grise en baie de Somme de 1969 à 2008

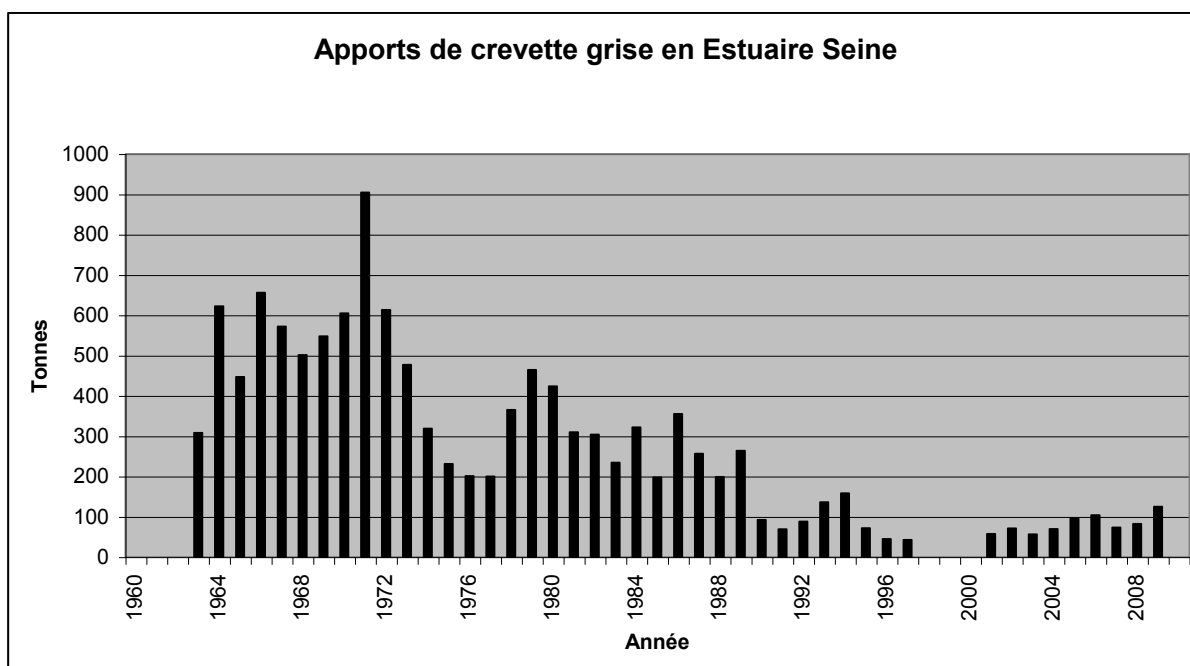


Figure 6.29 : Production de crevette grise en estuaire de Seine de 1963 à 2008

### **6.2.3 Suivi de la nurricerie de poissons plats et de la crevette grise**

Comme indiqué précédemment (§ 6.2.1.2), l'étude de projet a permis de mettre en évidence, au niveau du site de Penly, une phase halieutique particulièrement sensible. Celle-ci correspond à l'extension vers le sud de l'importante zone de nurricerie de poissons plats située plus au nord, au niveau de la Baie de Somme. L'importance de cette phase sensible, le fait qu'elle pouvait être sous l'influence des eaux réchauffées par la centrale et que par ailleurs il était possible d'en assurer un suivi quantitatif, expliquent l'orientation méthodologique prise à partir de 1979.

#### **6.2.3.1 Matériel et méthodes**

##### **6.2.3.1.1 Zone et période d'étude**

Les campagnes «IGA-Penly : Macrofaune halieutique» ont été réalisées dans une zone côtière allant du Tréport à la baie d'Authie, incluant la baie de Somme et s'étendant jusqu'à la sonde des 15 mètres.

De 1979 à 1983, deux campagnes annuelles étaient réalisées, au printemps et à l'automne. Depuis la reprise de l'étude en 1987, seule la campagne d'automne, qui permet un meilleur échantillonnage des juvéniles de moins de 1 an (groupes 0), a été maintenue. Cette stratégie, qui considère l'automne comme une saison de référence, est cohérente avec celles des campagnes de ce type réalisées dans d'autres secteurs de nurriceries.

Sont prises en compte, dans cette synthèse, uniquement les campagnes réalisées à l'automne, de 1980 à 2009.

##### **6.2.3.1.2 Stratégie d'échantillonnage**

Les échantillonnages ont été réalisés à l'aide de chaluts à perche de 2.90m (CP3) en dehors de la baie de Somme et de 2m (CP2) à l'intérieur de la baie de Somme et à proximité immédiate de celle-ci, selon un plan d'échantillonnage stratifié et une durée de traîne standardisée. Ces chaluts sont équipés d'un bourrelet chaîné précédé d'un racasseur, et d'une poche de maillage 20 mm étiré destiné à la capture des individus de petite taille vivant près du fond (juvéniles de poissons et crevette grise notamment). Ces outils conçus et mis en œuvre à des fins scientifiques sont des engins standard habituellement utilisés pour les suivis des nurriceries côtières et estuariennes.

L'historique des échantillonnages d'automne est présenté dans le tableau 2.

**Synthèse hydrobiologique du site du C.N.P.E. de Penly**  
**Chapitre 6 – Le domaine halieutique**

Période	Strates Poissons	Strates Crevettes	Nb CP3	Nb CP2	Commentaires
1979 (septembre)					
16/09 au 21/09/80	ABCDE	0123456789	38	36	
6/10 au 15/10/81	ABCDE	0123456789	32	13	
27/09 au 02/10/82	ABCDE	0123456789	38	38	
15/09 au 1/10/-83	ABCDE	0123456789	40	40	
16/09 au 19/9/87	ABCDE	0123456789	40	28	
16/09 au 19/09/88	ABCDE	0123456789	37	29	
21/09 au 24/09/89	ABCDE	0123456789	40	33	
11/09 au 13/09/90	ABCDE	0123456789	39	31	
13/09 au 16/09/91	ABCDE	0123456789	40	33	
17/09 au 20/09/92	ABCDE	0123456789	40	29	
21/09 au 24/09/93	ABCDE	0123456789	42	26	Introduction d'un bourrelet caoutchouc (sans racasseur) pour échantillonner les fonds durs devant Penly
12/09 au 15/09/94	ABCDE	0123456789	38	28	Bourrelet caoutchouc + racasseur.
14/09 au 16/09/95	ABCDE	0123456789	38	22	Abandon du bourrelet caoutchouc. Retour au chalut à perche chaîné classique
18/09 au 21/09/96	ABCDE	0123456789	36	26	
22/09 au 25/09/97	ABCDE	0123456789	36	24	
15/09 au 15/10/98	ABCDE	0_34567_9	31	10	Mauvais temps, échantillonnage incomplet (E incomplet pour poissons et manque 1,2,8 pour crevettes)
16/09 au 19/09/99	ABC_E	0123456_9	34	17	Réallocation des traits. Suppression strate du large (D, 7 et 8), diminution dans A et augmentation dans C. Durée des traits CP2 portée de 3 à 10' et réduction du nb de traits.
04/09 au 6/09/00	ABC E	0123456_9	34	20	
10/09 au 12/09/01	ABC E	0123456_89	33	15	
02/09 au 4/09/02	ABC E	0123456_9	34	15	
02/09 au 4/09/03	ABC E	0123456_89	34	15	
06/09 au 9/09/04	ABC E	0123456_9	34	16	
12/09 au 14/09/05	ABC E	0123456_89	34	16	
28/08 au 1/09/06	ABC E	0123456_9	33	12	
04/09 au 6/09/07	ABC E	0123456_9	33	16	
25/08 au 29/08/08	ABC E	0123456_9	34	16	
07/09 au 10/09/09	ABC E	0123456_9	34	14	

Tableau 6.6 : Historique des échantillonnages d'automne sur le site de nurserie de baie de Somme-Penly

#### 6.2.3.1.3 Calcul d'indicateurs

L'état de santé d'une population peut être estimé à partir d'indicateurs. Pour chacune des 12 espèces étudiées, des paramètres relatifs aux populations échantillonnées ont été calculés, afin de suivre leur évolution temporelle, en particulier les occurrences et les abondances. Les dominances ont aussi été établies afin de suivre l'évolution du peuplement étudié (12 espèces).

Les indicateurs utilisés dans cette étude ont été mis au point par le département EMH<sup>19</sup> de l'Ifremer/Nantes pour le groupe de travail « Indicateurs de population et de peuplement » dans le cadre du sous-programme SIH<sup>20</sup>-campagnes à la mer (Rochet et al., 2004 ; Bertrand et al., 2004 ; Rochet et al., 2005). Ces indicateurs ont été calculés pour les campagnes à la mer réalisées par Ifremer et ont fait l'objet de documents de synthèse ou de publications (SIH-C, 2007 et 2009 ; Morin et al., 2009).

L'**occurrence** d'une espèce donnée correspond à la proportion des traits dans lesquels celle-ci a été observée. Pour chaque espèce, ont été calculées les occurrences moyennes sur l'ensemble des campagnes ainsi que les occurrences par année, afin d'identifier d'éventuelles évolutions temporelles.

Les **abondances** numériques sont données en nombre d'individus totaux estimés en extrapolant à la surface totale les captures effectuées dans la surface échantillonnée. Compte-tenu des variations inter-annuelles d'abondance de la plupart des espèces, et donc de la possibilité d'avoir certaines années des effectifs très élevés, les données d'abondance ont été log-transformées (ln abondance) afin de mieux appréhender les tendances qui pourraient être masquées par de fortes abondances ponctuelles. Lorsqu'elles existent, les tendances significatives sont indiquées sur les graphiques.

Une espèce est **dominante** quand elle regroupe une part prépondérante des individus appartenant à la communauté considérée. Le cumul des classements sur l'ensemble des campagnes permet d'apprécier le degré de dominance dans la communauté constituée de 12 espèces dans cette étude. Compte-tenu des modifications de stratégie d'échantillonnage au fil du temps, il n'était pas possible, dans cette étude de dominance, de prendre en compte l'ensemble du peuplement capturé au chalut à perche dans le secteur étudié (cf § 6.2.3.1.4).

#### 6.2.3.1.4 Choix des espèces prises en compte

Les engins utilisés pour les chalutages expérimentaux permettent de capturer un grand nombre d'espèces, en particulier les espèces benthiques (vivant sur le fond) ou démersales (vivant à proximité du fond). Les espèces pélagiques sont moins bien capturées, malgré l'abondance possible de juvéniles de hareng et de sprat par exemple.

Le choix des 12 taxons<sup>21</sup> pris en compte dans cette étude (tableau 6.7) a été effectué principalement sur les critères suivants : la capturabilité par les engins de pêche utilisés, la relative abondance, l'importance commerciale de l'espèce, la présence de juvéniles et aussi l'échantillonnage sur l'ensemble des campagnes. L'objectif défini lors des premières campagnes était l'échantillonnage des poissons et des invertébrés d'intérêt commercial.

<sup>19</sup> EMH : Ecologie et Modélisation pour l'Halieutique

<sup>20</sup> SIH : Système d'Information Halieutique

<sup>21</sup> Taxon : Unité systématique (telle qu'une famille, un genre, une espèce).

L'échantillonnage de l'ensemble des invertébrés capturés a été effectif à partir de 1995. Certaines espèces benthiques, bien qu'abondantes dans les captures, n'ont donc pas pu être prises en compte dans cette étude.

Le secteur s'étendant de la Baie de Somme jusqu'à Penly constitue une zone de nurserie pour bon nombre de poissons, en particulier pour les poissons plats d'intérêt commercial tels que sole, plie, limande et flet, bien échantillonnés par les engins de prélèvement utilisés et donc retenus pour cette synthèse. D'autres espèces, soit vivant près du fond et donc bien capturées (arnoglosse, callionyme, étrille, petite sole jaune, souris de mer, raies), soit abondantes dans les captures expérimentales (crevettes grises, gobies) ont également été retenues pour la présente étude.

\* Bien que présent en zone côtière et capturé principalement dans sa phase juvénile, lors des pêches expérimentales, le hareng ne fait pas partie des espèces retenues pour cette synthèse. Du fait de son mode de vie pélagique, cette espèce n'est que partiellement accessible aux engins de pêche utilisés, non adaptés à la capture d'espèces pélagiques. Les indicateurs d'abondance de hareng ne peuvent pas être considérés comme des indices d'abondance aussi pertinents que pour les espèces benthiques ou démersales.

Cependant, le hareng a eu par le passé une importance économique non négligeable pour les pêcheries côtières de Manche Orientale. Il a fait l'objet d'une pêche ciblée au filet dérivant, à l'automne. Par ailleurs il est reconnu que les larves de clupéidés, dont le hareng, peuvent obturer les grilles de filtration des stations de pompage de la centrale.

Il est donc apparu intéressant de faire un point particulier sur l'évolution des captures de hareng au cours des campagnes annuelles de prospection, sans introduire de notion de dominance par rapport aux autres espèces étudiées.

<b>Taxons</b>	<b>Noms vernaculaires</b>	<b>Codes espèces</b>
<b>Poissons</b>		
<i>Agonus cataphractus</i>	Souris de mer	AGONCAT
<i>Arnoglossus</i>	Arnoglosse	ARNO
<i>Buglossidium luteum</i>	Petite sole jaune	BUGLLUT
<i>Callionymus lyra</i>	Callionyme lyre	CALMLYR
<i>Gobiidae</i>	"Gobies"	FMGOBII
<i>Limanda limanda</i>	Limande commune	LIMDLIM
<i>Platichthys flesus</i>	Flet commun	PLATFLE
<i>Pleuronectes platessa</i>	Plie commune	PLEUPLA
<i>Raja clavata</i>	Raie bouclée	RAJACLA
<i>Solea solea</i>	Sole commune	SOLESOL
<b>Crustacés</b>		
<i>Crangon crangon</i>	Crevette grise	CRAGCRA
<i>Necora puber</i>	Etrille	NECOPUB

Tableau 6.7 : Taxons pris en compte

## 6.2.3.2 Résultats

### 6.2.3.2.1 Présence-absence

Excepté l'arnoglosse, absent des échantillonnages en 1980, les 12 espèces prises en compte sont présentes dans les captures à toutes les campagnes.

### 6.2.3.2.2 Occurrences

Certaines espèces présentent une occurrence moyenne élevée indiquant qu'elles sont régulièrement présentes dans les échantillons et ce, sur une grande partie de la zone échantillonnée (tableau 6.8). C'est le cas des Gobiidae et de la crevette grise dont l'occurrence moyenne est supérieure à 80% sur l'ensemble de la période 1980-2009, ainsi que de la plie et du callionyme dont l'occurrence dépasse 75%. La limande et la petite sole jaune sont présentes dans au moins 50% des traits et la sole dans 45% des traits. L'occurrence des autres espèces prises en compte est nettement plus faible, celle-ci ne dépasse pas 10% pour le flet.

Pour certaines espèces, les occurrences sont différentes entre les deux périodes, 1980-1989 et 1990-2009. La crevette grise, la limande et la souris de mer présentent des occurrences plus élevées au cours de la première période. Les occurrences sont par contre plus élevées au cours de la deuxième période pour la petite sole jaune, la raie et l'arnoglosse.

Espèces	Noms vernaculaires	Codes espèces	Occurrences moyennes (%)		
			1980-2009	1980-1989	1990-2009
<i>Gobiidae</i>	"Gobies"	FMGOBII	84	87	83
<i>Crangon crangon</i>	Crevette grise	CRAGCRA	81	90	77
<i>Pleuronectes platessa</i>	Plie commune	PLEUPLA	78	75	80
<i>Callionymus lyra</i>	Callionyme lyre	CALMLYR	77	72	79
<i>Buglossidium luteum</i>	Petite sole jaune	BUGLLUT	53	37	59
<i>Limanda limanda</i>	Limande commune	LIMDLIM	50	64	45
<i>Solea solea</i>	Sole commune	SOLESOL	45	48	43
<i>Raja</i>	Raies	RAJA	33	19	38
<i>Agonus cataphractus</i>	Souris de mer	AGONCAT	27	43	20
<i>Arnoglossus</i>	Arnoglosse	ARNO	22	8	27
<i>Necora puber</i>	Etrille	NECOPUB	19	25	16
<i>Platichthys flesus</i>	Flet commun	PLATFLE	10	11	10

Tableau 6.8 : Occurrences moyennes des espèces étudiées (1980-2008)

L'évolution des occurrences sur la période 1980-2009 est présentée dans la figure 6.30. Aux courbes d'évolution ont été ajoutées les moyennes des occurrences sur l'ensemble de la période d'étude.

Une relative stabilité est observée pour la sole (SOLESOL), le flet (PLATFLE), la plie (PLEUPLA) et les gobiidés (FMGOBII), malgré des variations inter-annuelles qui peuvent être importantes, notamment pour la sole dont l'occurrence varie entre 36% et 82%.

Les occurrences d'étrille (NECOPUB) et de crevette grise (CRAGCRA) décroissent légèrement sur l'ensemble de la période d'étude. L'occurrence de la crevette grise décroît principalement de 1980 à 2003 pour ensuite augmenter et osciller autour de la moyenne,

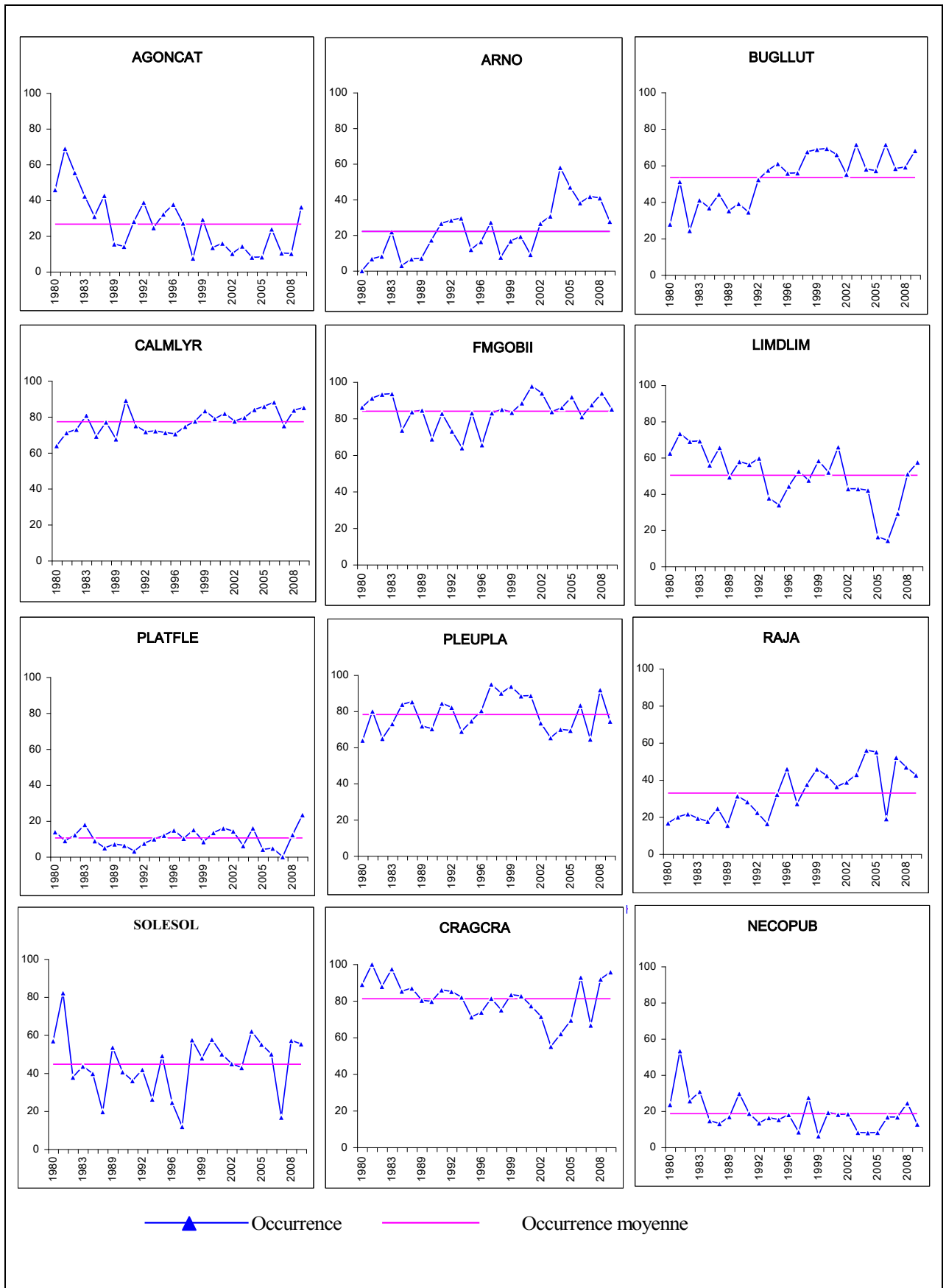


entre 69% et 93%. La décroissance observée pour l'étrille est principalement due à une valeur nettement plus élevée en 1981.

La décroissance est plus marquée pour la limande (LIMDLIM) et la souris de mer (AGONCAT). L'occurrence de la limande décroît fortement entre 1981 et 2006, passant de 73% à 14%, pour remonter ensuite à un niveau supérieur à la moyenne (50%), en 2008 et 2009. Pour la souris de mer, on peut noter des occurrences nettement plus élevées en début de période (>45%), niveau jamais atteint les années suivantes, se situant plus généralement au-dessous de 20% à partir de l'année 2000, avec cependant une légère remontée en 2009 (36%).

Une légère augmentation des occurrences est observée pour le callionyme (CALMLYR). La tendance à l'augmentation est plus marquée pour les raies (RAJA), la petite sole jaune (BUGLLUT) et l'arnoglosse (ARNO). Une remarque particulière peut être faite pour la petite sole jaune. En début de période (1980-1991), les occurrences sont peu élevées et relativement stables (entre 24 et 51%). Celles-ci augmentent à partir de 1992 et demeurent dans une fourchette comprise entre 55 et 71% jusqu'en 2009 sans réelle tendance. Il semblerait que la tendance générale observée soit le résultat d'une modification des niveaux d'occurrence à partir de 1992.

**Synthèse hydrobiologique du site du C.N.P.E. de Penly**  
**Chapitre 6 – Le domaine halieutique**



**Figure 6.30 : Evolution des occurrences de chacune des 12 espèces**

6.2.3.2.3 *Abondances*

● **Moyennes sur l'ensemble de la période**

La crevette grise est l'espèce qui présente l'indice moyen d'abondance numérique le plus élevé sur l'ensemble de la période. Suivent le callionyme et les gobiidés, avec des indices moyens supérieurs à 15000 individus/km<sup>2</sup> (tableau 6.9).

Les abondances pondérales sont bien sûr liées aux effectifs mais également aux poids individuels moyens. Il en résulte que parmi les espèces étudiées, le callionyme présente la plus forte biomasse moyenne sur l'ensemble des années d'étude. Suivent la crevette grise et la plie.

La crevette grise et le calliomyme figurent donc parmi les espèces importantes à la fois du point de vue numérique et du point de vue pondéral.

Espèces	Noms vernaculaires	Codes espèces	Densités moyennes (Nombres/km <sup>2</sup> )	Indices d'abondance pondérale (Kg/km <sup>2</sup> )
<i>Crangon crangon</i>	Crevette grise	CRAGCRA	185252	126
<i>Callionymus lyra</i>	Callionyme lyre	CALMLYR	21507	295
<i>Gobiidae</i>	"Gobies"	FMGOBII	15501	39
<i>Buglossidium luteum</i>	Petite sole jaune	BUGLLUT	8300	65
<i>Limanda limanda</i>	Limande commune	LIMDLIM	5920	80
<i>Pleuronectes platessa</i>	Plie commune	PLEUPLA	2710	130
<i>Solea solea</i>	Sole commune	SOLESOL	1582	37
<i>Agonus cataphractus</i>	Souris de mer	AGONCAT	864	5
<i>Necora puber</i>	Etrille	NECOPUB	482	32
<i>Arnoglossus</i>	Arnoglosse	ARNO	471	8
<i>Raja</i>	Raies	RAJA	233	37
<i>Platichthys flesus</i>	Flet commun	PLATFLE	57	8

**Tableau 6.9 : Indices moyens d'abondance numérique et pondérale des espèces étudiées sur la période (1980-2008)**

● **Evolutions temporelles**

- *Ensemble de la série*

La figure 11 présente les évolutions d'abondance numérique (ln abondance) sur l'ensemble de la période d'étude, pour les 12 espèces prises en compte. Si la tendance est significative, celle-ci est représentée par une droite de pente plus ou moins importante.

Les abondances de plie et de sole, surtout représentées par des juvéniles de moins de 2 ans (G0 et G1), présentent une relative stabilité au fil des années, malgré de fortes variations inter-annuelles. Il en est de même pour l'arnoglosse et l'étrille.

Six espèces présentent une diminution significative d'abondance numérique : la souris de mer, le callionyme, les gobiidés, la limande, le flet, et la crevette grise, et ce, avec des variations inter-annuelles d'abondance qui peuvent être élevées. Une légère remontée de l'abondance est observée en fin de période, pour la souris de mer, le flet et la crevette grise.

A l'inverse on note une augmentation significative des abondances de la petite sole jaune et des raies. L'analyse de l'évolution d'abondance (ln abondance) de la petite sole jaune sur l'ensemble de la période d'étude permet d'identifier trois groupes d'années :

- de 1980 à 1987, abondances les plus faibles par rapport à la série temporelle entre 0 et 2M individus ;
- de 1988 à 1996, valeurs nettement plus élevées, entre 8 et 12.5 millions d'individus avec des variations inter-annuelles limitées ;
- de 1997 à 2009, valeurs comprises entre 2 et 11 millions d'individus avec de très grandes variations inter-annuelles.

Les abondances pondérales suivent, en gros, le même schéma d'évolution que les abondances numériques.

Une comparaison peut être effectuée avec les observations réalisées lors des campagnes annuelles de chalutages réalisées à l'automne (octobre 1988 à 2004) en Manche Est, afin de voir si les tendances observées sur le site de Penly-Baie de Somme sont également observées sur l'ensemble de la Manche Est. Parmi les espèces présentées, la synthèse SIH-Campagne (Morin *et al.*, 2009) indique une augmentation significative des abondances de flet ( $\sphericalangle$  sur Penly-baie de Somme), et aucune tendance significative pour la limande ( $\sphericalangle$  sur Penly-baie de Somme), la plie, la sole et la raie bouclée. Il faut préciser que sur le site de Penly-baie de Somme, les flets et les limandes sont essentiellement des juvéniles, alors que sur l'ensemble de la Manche Est les captures sont constituées d'adultes et de juvéniles, ces derniers étant capturés dans les secteurs côtiers.

\* Une observation de l'évolution des abondances numériques non transformées en logarithmes, ne permet pas de mettre en évidence une évolution significative de cet indicateur pour la petite sole jaune et le flet en raison des fortes variabilités inter-annuelles d'abondance. Cela confirme l'intérêt d'utiliser les données log-transformées (ln abondance) pour détecter des tendances qui peuvent être masquées par des variations d'abondance de grande amplitude ou par des abondances ponctuellement élevées.

Au sein de la période d'étude, il est intéressant de regarder quelles sont les tendances, de 1980 à 1989 d'une part, et de 1990 à 2009 d'autre part (figures 6.32 et 6.33 ; tableau 6.10).

#### **- Avant 1990**

En début de période, de 1980 à 1989, l'évolution d'abondance est significative pour une seule espèce, la petite sole jaune, dont l'abondance a nettement augmenté à partir de 1988. Les diminutions d'abondance, qui peuvent être observées pour quelques espèces, telles que la souris de mer, ne sont pas significatives du point de vue statistique.

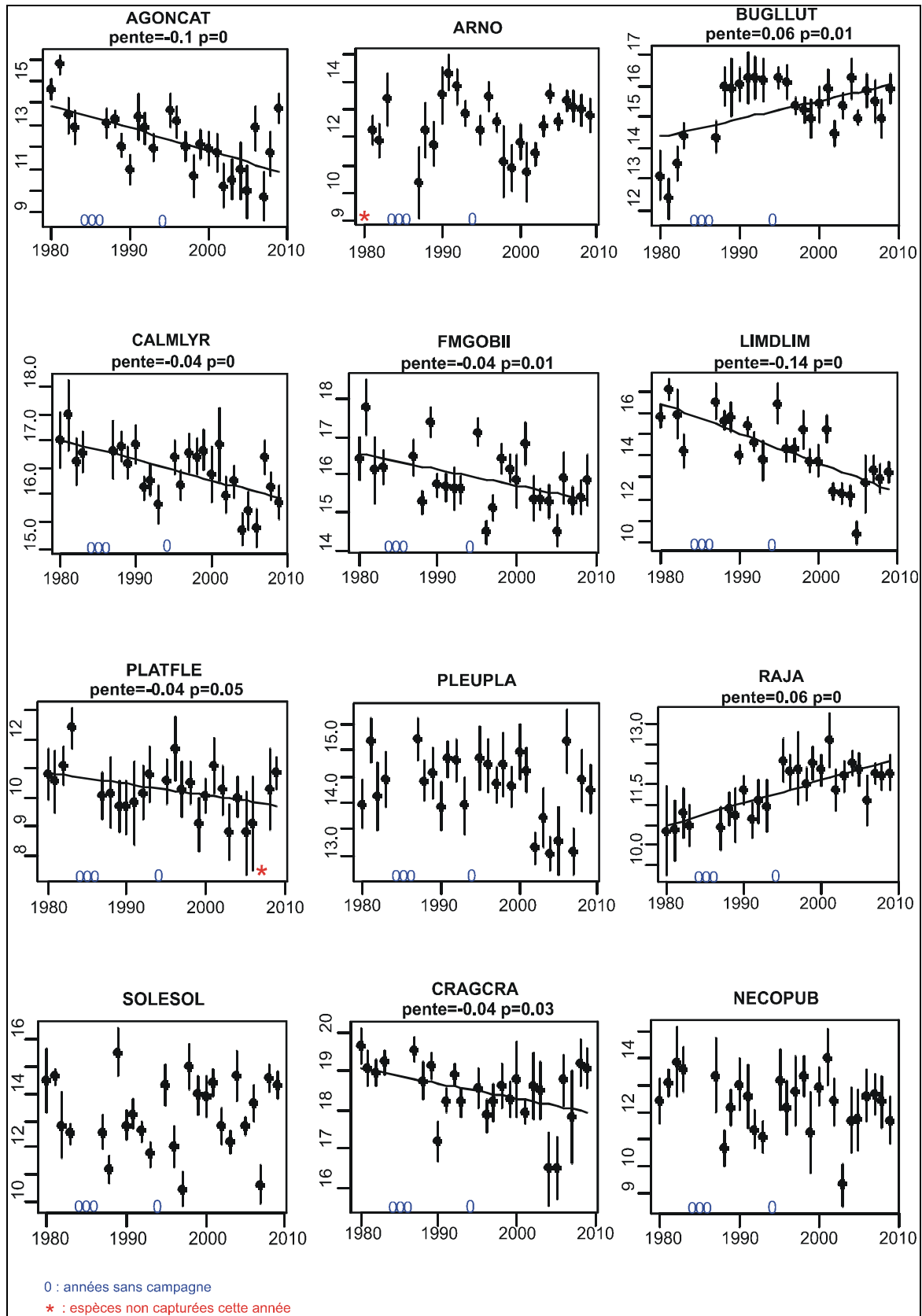
#### **- Après 1990**

Sur la période 1990-2009, deux espèces, la souris de mer, et la limande commune, présentent une diminution significative comme sur l'ensemble de la période d'étude. La tendance observée pour la petite sole jaune est en opposition avec celle du début de période et celle de l'ensemble de la période d'étude. Cela peut s'expliquer par une forte augmentation d'abondance à partir de 1988, avec des valeurs stables jusqu'en 1996, et ensuite une légère diminution des abondances.

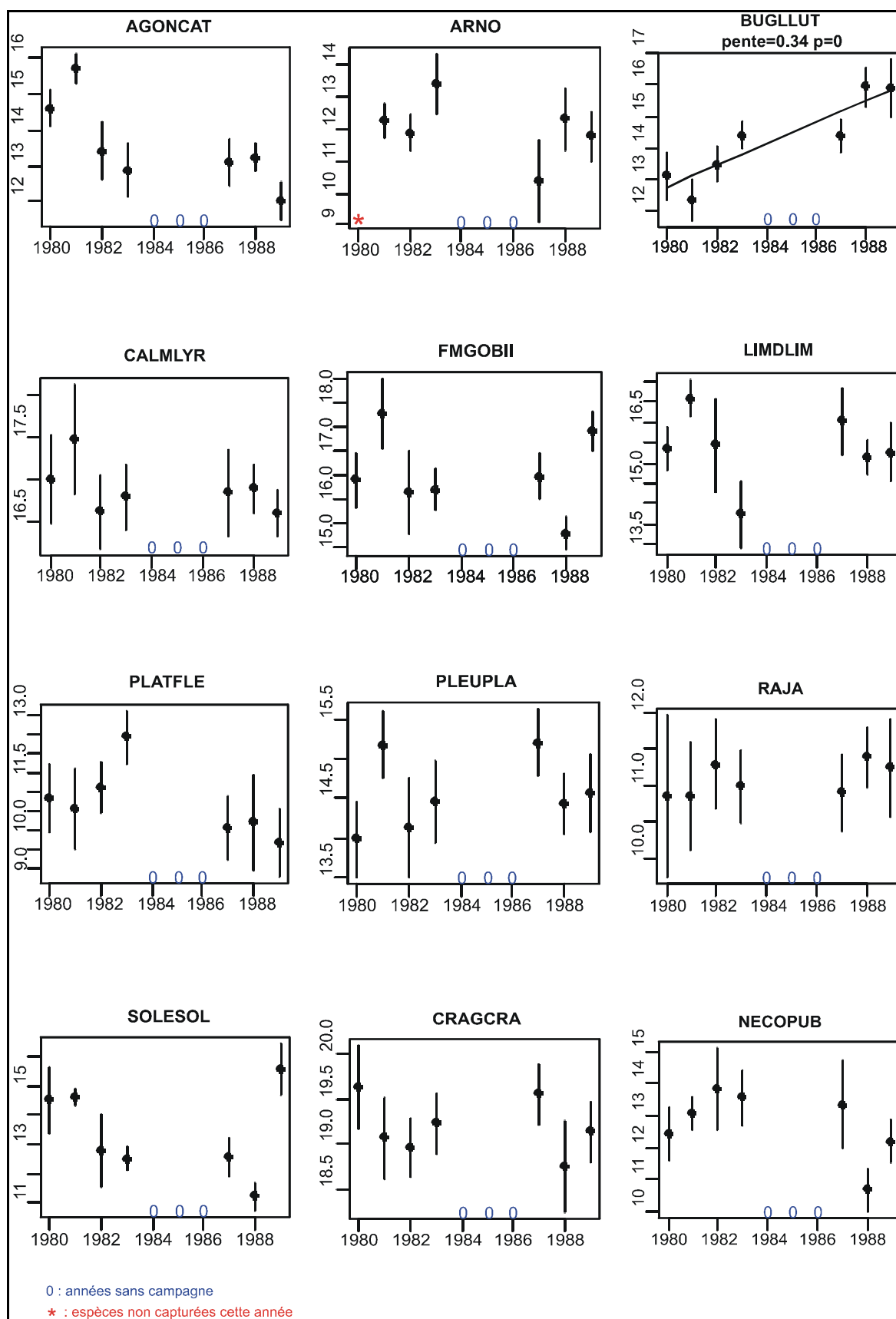
**Synthèse hydrobiologique du site du C.N.P.E. de Penly**  
**Chapitre 6 – Le domaine halieutique**

Espèces	Noms vernaculaires	1980-1989	1990-2009	1980-2009
<i>Agonus cataphractus</i>	Souris de mer	↘ NS	↘	↘
<i>Arnoglossus</i>	Arnoglosse	-	-	-
<i>Buglossidium luteum</i>	Petite sole jaune	↗	↘	↗
<i>Callionymus lyra</i>	Callionyme lyre	-	-	↘
<i>Crangon crangon</i>	Crevette grise	-	-	↘
<i>Gobiidae</i>	"Gobies"	-	-	↘
<i>Limanda limanda</i>	Limande commune	-	↘	↘
<i>Necora puber</i>	Etrille	-	-	-
<i>Pleuronectes platessa</i>	Plie commune	-	-	-
<i>Platichthys flesus</i>	Flet commun	-	-	↘
<i>Solea solea</i>	Sole commune	-	-	-
<i>Raja</i>	Raies	-	-	↗

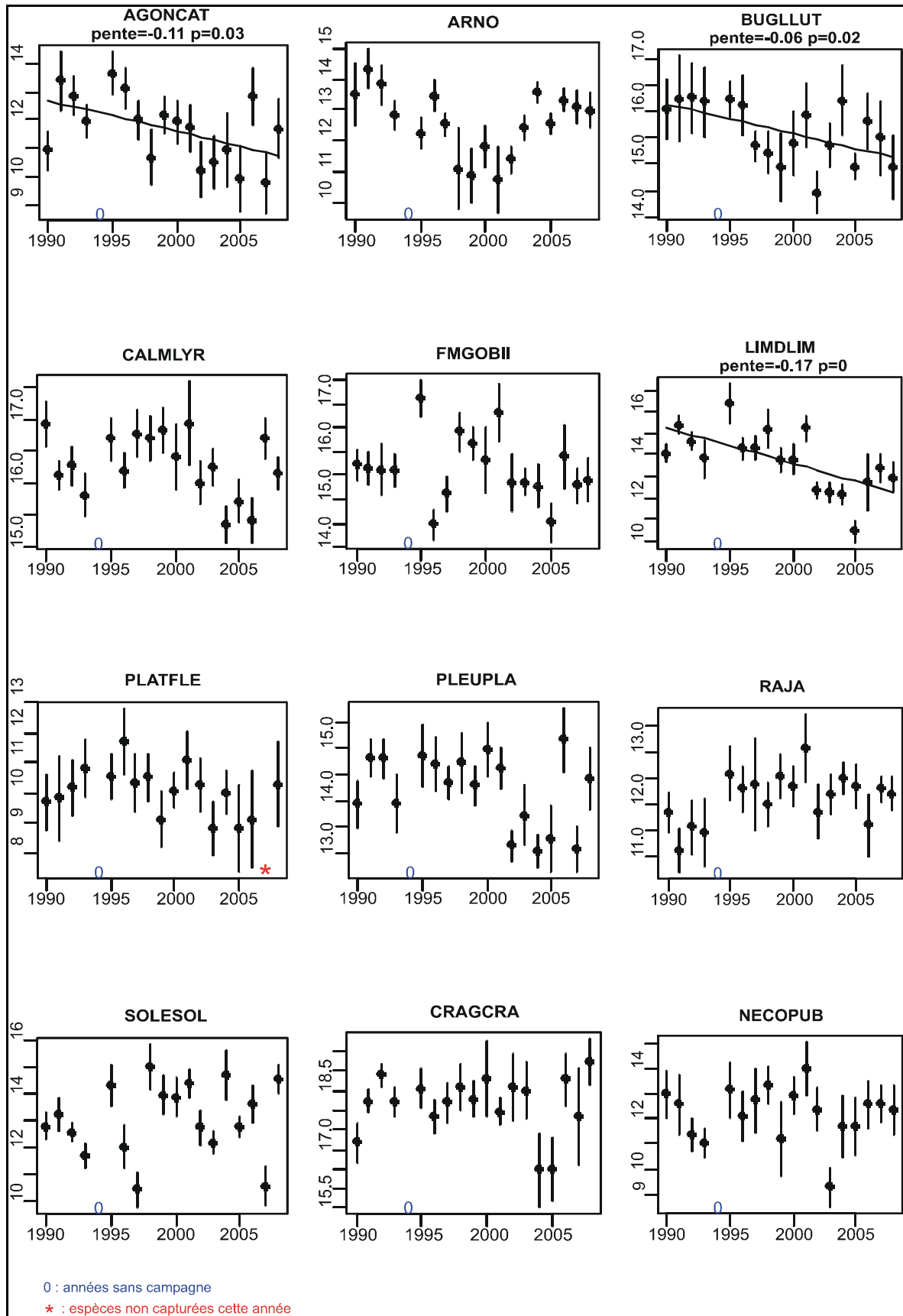
Tableau 6.10 : Evolution des indicateurs d'abondance (ln abondance) sur l'ensemble de la période, et sur les périodes antérieures et postérieures à 1990. Les flèches indiquent les tendances significatives du point de vue statistique



**Figure 6.31 : Evolution temporelle de l'abondance (ln abondance) de chacune des 12 espèces étudiées, sur l'ensemble de la période 1980-2009**



**Figure 6.32 : Evolution temporelle de l'abondance (ln abondance) de chacune des 12 espèces étudiées, la période 1980-1989**



**Figure 6.33 : Evolution temporelle de l'abondance (ln abondance) de chacune des 12 espèces étudiées, sur la période 1990-2009**



### 6.2.9.3 Dominances

L'étude des dominances numériques permet de voir, au sein d'un peuplement défini, à quel rang se situe chaque espèce, et comment évolue ce rang au fil des années. Au premier rang figure l'espèce la plus abondante numériquement, et au dernier rang l'espèce la moins abondante, les espèces étant listées par ordre décroissant d'abondance (tableau 6.11). Le tableau 6.12 indique le nombre de fois qu'une espèce donnée occupe le rang indiqué.

Dans le cas présent, l'analyse a été effectuée uniquement sur les espèces prises en compte dans cette étude (12 espèces). Comme indiqué précédemment, l'étude ne peut être effectuée sur l'ensemble du peuplement échantillonné en raison d'une modification de stratégie d'échantillonnage intervenue au cours de la série temporelle, modification portant sur les invertébrés non commerciaux échantillonnés uniquement à partir de 1995.

Parmi les 12 espèces prises en compte, la crevette grise (CRAGCRA) et le callionyme (CALMLYR) sont numériquement dominants sur l'ensemble des campagnes. Il en est de même, dans une moindre mesure, pour les gobiidés (FMGOBII). Ces trois espèces, malgré une diminution significative de leur abondance, occupent un rang égal ou inférieur à 5 sur l'ensemble des 26 campagnes (tableau 6.12).

Quatre espèces figurent à toutes les campagnes au-delà du 5<sup>ème</sup> rang, l'étrille (NECOPUB), l'arnoglosse (ARNO), la raie bouclée (RAJACLA) et le flet (PLATFLE)

La petite sole jaune (BUGLLUT), qui ne figurait pas parmi les espèces dominantes en début de série, se retrouve généralement aux 2, 3 et 4èmes rangs à partir de l'année 1988. Cette présence parmi les espèces dominantes correspond à une augmentation importante de son abondance à partir de cette même année.

Inversement, la limande (LIMDLIM), qui occupait un rang compris entre 1 et 6 en début de période, figure plus fréquemment au-delà du 7<sup>ème</sup> rang après 1999.

Les rangs des espèces telles que sole (SOLESOL) et plie (PLEUPLA), fluctuent en fonction de leur abondance, liée essentiellement à l'importance de l'arrivée de juvéniles sur le site de la nourricerie. Les variations inter-annuelles d'abondance de juvéniles constituent une des caractéristiques des zones de nourriceries côtières et estuariennes.

Rang	1980	1981	1982	1983	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1995	1996
1	CRAGCRA	CRAGCRA	CRAGCRA	CRAGCRA	CRAGCRA	CRAGCRA	CRAGCRA	CRAGCRA	CRAGCRA	CRAGCRA	CRAGCRA	CRAGCRA	CRAGCRA
2	CALMLYR	FMGOBII	CALMLYR	CALMLYR	CALMLYR	CALMLYR	FMGOBII	CALMLYR	BUGLLUT	CALMLYR	BUGLLUT	FMGOBII	CALMLYR
3	FMGOBII	CALMLYR	FMGOBII	FMGOBII	LIMDLIM	BUGLLUT	CALMLYR	BUGLLUT	CALMLYR	BUGLLUT	CALMLYR	CALMLYR	BUGLLUT
4	LIMDLIM	LIMDLIM	LIMDLIM	PLEUPLA	FMGOBII	LIMDLIM	BUGLLUT	FMGOBII	FMGOBII	FMGOBII	FMGOBII	LIMDLIM	PLEUPLA
5	AGONCAT	AGONCAT	PLEUPLA	BUGLLUT	PLEUPLA	FMGOBII	LIMDLIM	LIMDLIM	LIMDLIM	PLEUPLA	PLEUPLA	BUGLLUT	FMGOBII
6	SOLESOL	PLEUPLA	NECOPUB	LIMDLIM	BUGLLUT	PLEUPLA	SOLESOL	PLEUPLA	PLEUPLA	LIMDLIM	LIMDLIM	PLEUPLA	LIMDLIM
7	PLEUPLA	SOLESOL	BUGLLUT	NECOPUB	NECOPUB	AGONCAT	PLEUPLA	ARNO	ARNO	ARNO	ARNO	SOLESOL	ARNO
8	BUGLLUT	NECOPUB	AGONCAT	ARNO	AGONCAT	ARNO	NECOPUB	NECOPUB	AGONCAT	AGONCAT	AGONCAT	AGONCAT	AGONCAT
9	NECOPUB	BUGLLUT	SOLESOL	AGONCAT	SOLESOL	RAJA	AGONCAT	SOLESOL	SOLESOL	SOLESOL	SOLESOL	NECOPUB	RAJA
10	RAJA	ARNO	ARNO	SOLESOL	RAJA	SOLESOL	ARNO	RAJA	NECOPUB	RAJA	RAJA	RAJA	NECOPUB
11	PLATFLE	RAJA	RAJA	PLATFLE	ARNO	NECOPUB	RAJA	AGONCAT	RAJA	NECOPUB	NECOPUB	ARNO	SOLESOL
12		PLATFLE	PLATFLE	RAJA	PLATFLE	PLATFLE	PLATFLE	PLATFLE	PLATFLE	PLATFLE	PLATFLE	PLATFLE	PLATFLE

Rang	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
1	CRAGCRA	CRAGCRA	CRAGCRA	CRAGCRA	CRAGCRA	CRAGCRA	CRAGCRA	CRAGCRA	CRAGCRA	CRAGCRA	CRAGCRA	CRAGCRA	CRAGCRA
2	CALMLYR	CALMLYR	CALMLYR	CALMLYR	CALMLYR	CALMLYR	CALMLYR	BUGLLUT	CALMLYR	FMGOBII	CALMLYR	CALMLYR	BUGLLUT
3	BUGLLUT	FMGOBII	FMGOBII	FMGOBII	FMGOBII	FMGOBII	FMGOBII	CALMLYR	BUGLLUT	BUGLLUT	BUGLLUT	FMGOBII	CALMLYR
4	FMGOBII	LIMDLIM	BUGLLUT	BUGLLUT	BUGLLUT	BUGLLUT	BUGLLUT	FMGOBII	FMGOBII	CALMLYR	FMGOBII	BUGLLUT	FMGOBII
5	PLEUPLA	BUGLLUT	PLEUPLA	PLEUPLA	LIMDLIM	PLEUPLA	PLEUPLA	SOLESOL	PLEUPLA	PLEUPLA	LIMDLIM	SOLESOL	SOLESOL
6	LIMDLIM	SOLESOL	SOLESOL	SOLESOL	PLEUPLA	SOLESOL	ARNO	ARNO	SOLESOL	SOLESOL	ARNO	PLEUPLA	PLEUPLA
7	NECOPUB	PLEUPLA	LIMDLIM	LIMDLIM	SOLESOL	NECOPUB	LIMDLIM	PLEUPLA	ARNO	ARNO	PLEUPLA	ARNO	AGONCAT
8	ARNO	NECOPUB	RAJA	NECOPUB	NECOPUB	LIMDLIM	RAJA	RAJA	RAJA	AGONCAT	NECOPUB	LIMDLIM	LIMDLIM
9	RAJA	RAJA	AGONCAT	RAJA	RAJA	RAJA	SOLESOL	LIMDLIM	NECOPUB	LIMDLIM	RAJA	NECOPUB	ARNO
10	AGONCAT	ARNO	NECOPUB	AGONCAT	AGONCAT	ARNO	AGONCAT	NECOPUB	LIMDLIM	NECOPUB	SOLESOL	RAJA	RAJA
11	SOLESOL	AGONCAT	ARNO	ARNO	PLATFLE	PLATFLE	NECOPUB	AGONCAT	AGONCAT	RAJA	AGONCAT	AGONCAT	NECOPUB
12	PLATFLE	PLATFLE	PLATFLE	PLATFLE	ARNO	AGONCAT	PLATFLE	PLATFLE	PLATFLE	PLATFLE	PLATFLE	PLATFLE	PLATFLE

Tableau 6.11 : Evolution du rang de dominance de chaque espèce au sein des espèces prises en compte, au cours de la période 1980-2009

a)

1980-2009	Rangs					Total
Espèces	1	2	3	4	5	rangs 1 à 5
CRAGCRA	26	0	0	0	0	26
CALMLYR	0	18	7	1	0	26
FMGOBII	0	4	10	10	2	26
BUGLLUT	0	4	8	7	3	22
LIMDLIM	0	0	1	6	5	12
PLEUPLA	0	0	0	2	11	13
SOLESOL	0	0	0	0	3	3
AGONCAT	0	0	0	0	2	2
NECOPUB	0	0	0	0	0	0
ARNO	0	0	0	0	0	0
RAJA	0	0	0	0	0	0
PLATFLE	0	0	0	0	0	0

b)

1980-1989	Rangs					Total
Espèces	1	2	3	4	5	rangs 1 à 5
CRAGCRA	7	0	0	0	0	7
CALMLYR	0	5	2	0	0	7
FMGOBII	0	2	3	1	1	7
LIMDLIM	0	0	1	4	1	6
BUGLLUT	0	0	1	1	1	3
PLEUPLA	0	0	0	1	2	3
AGONCAT	0	0	0	0	2	2
SOLESOL	0	0	0	0	0	0
NECOPUB	0	0	0	0	0	0
ARNO	0	0	0	0	0	0
RAJA	0	0	0	0	0	0
PLATFLE	0	0	0	0	0	0

c)

1990-2009	Rangs					Total
Espèces	1	2	3	4	5	rangs 1 à 5
CRAGCRA	19	0	0	0	0	19
CALMLYR	0	13	5	1	0	19
FMGOBII	0	2	7	9	1	19
BUGLLUT	0	4	7	6	2	19
PLEUPLA	0	0	0	1	9	10
LIMDLIM	0	0	0	2	4	6
SOLESOL	0	0	0	0	3	3
AGONCAT	0	0	0	0	0	0
NECOPUB	0	0	0	0	0	0
ARNO	0	0	0	0	0	0
RAJA	0	0	0	0	0	0
PLATFLE	0	0	0	0	0	0

Tableaux 6.12 : Rangs des espèces étudiées en fonction de leur abondance. Chaque nombre indique le nombre de fois que le rang est occupé par l'espèce pour le rang indiqué, sur l'ensemble de la période d'étude (a) ainsi que sur les deux périodes 1980-1989 (b) et 1990-2009(c)

6.2.9.4 Synthèse par espèce

Espèces	Occurrences	Ln abondances	Abondances	Biomasses
<i>Agonus cataphractus</i>	↘	↘	↘	↘
<i>Arnoglossus</i>	↗	-	-	-
<i>Buglossidium luteum</i>	↗	↗	-	-
<i>Callionymus lyra</i>	↗	↘	↘	↘
<i>Crangon crangon</i>	↘	↘	↘	↘
<i>Gobiidae</i>	-	↘	↘	↘
<i>Limanda limanda</i>	↘	↘	↘	↘
<i>Necora puber</i>	↘	-	-	-
<i>Pleuronectes platessa</i>	-	-	-	-
<i>Platichthys flesus</i>	-	↘	-	↘
<i>Solea solea</i>	-	-	-	-
<i>Raja</i>	↗	↗	↗	↗

\* Seules les flèches rouges indiquent des tendances significatives

Tableau 6.13 : Evolution des indicateurs sur l'ensemble de la période 1980-2009

6.2.9.5 Cas particulier du hareng

Comme indiqué précédemment, le hareng n'a pas été inclus dans les espèces étudiées pour l'ensemble des indicateurs calculés mais il fait l'objet d'un point particulier du fait de son importance économique passée.

Sur l'ensemble de la période d'étude, l'occurrence moyenne du hareng, est de 25%. Elle-ci est légèrement plus élevée pendant la deuxième période (1990-2009).

	1980-2009	1980-1989	1990-2009
Occurrences moyennes	25%	22%	27%

L'évolution présentée sur la figure 6.34 montre une très légère tendance à l'augmentation sur l'ensemble de la période d'étude. Il est possible d'identifier deux périodes de plus faible occurrence, entre 1980 et 1983 d'une part, et entre 2002 et 2005 d'autre part. En dehors de ces deux périodes, l'occurrence fluctue entre 10% et 45%. Il est intéressant de remarquer que l'occurrence, très faible en 2003 (6%) a ensuite augmenté chaque année pour atteindre sa plus forte valeur en 2009 (59.6%).

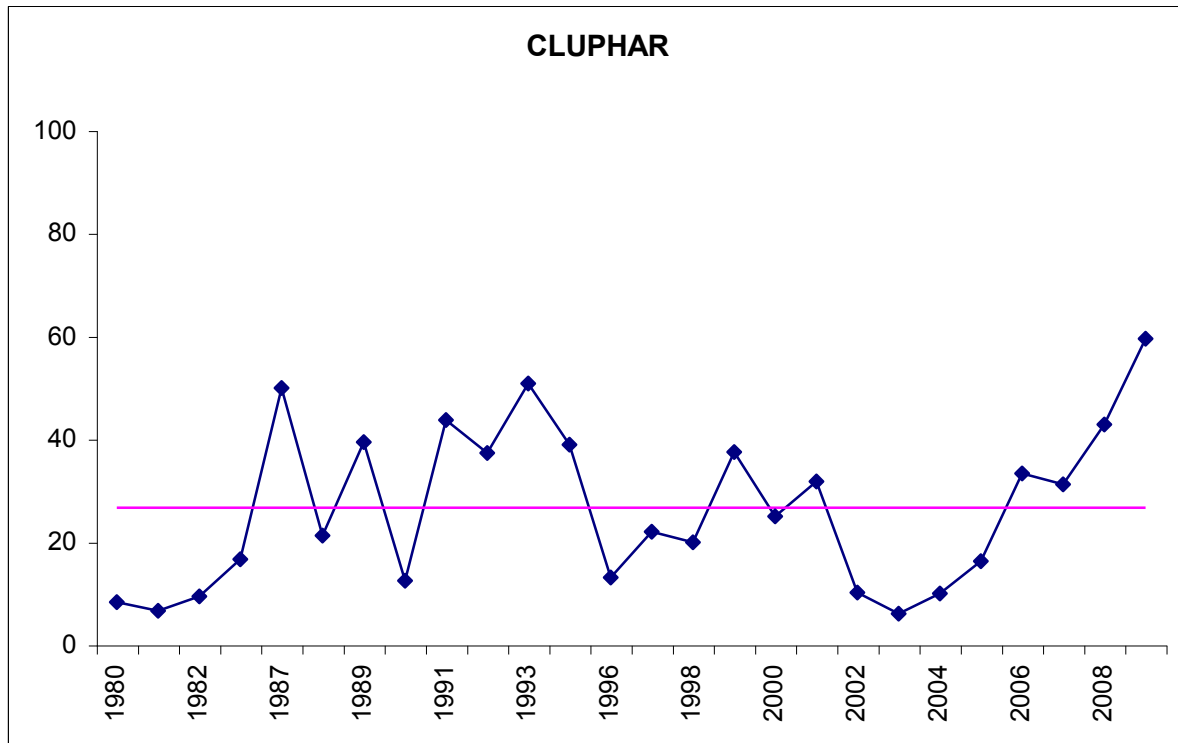


Figure 6.34 : Evolution de l'occurrence du hareng de 1980 à 2009

L'évolution des abondances de hareng (ln abondances) ne présente pas de tendance significative sur l'ensemble de la période d'étude. Une augmentation significative est par contre observée au cours de la période 1980-1989. Comme pour les occurrences, l'abondance apparaît particulièrement faible en début de période (1980-1983) ainsi qu'en 1990 et en 2003, année à partir de laquelle l'abondance augmente régulièrement (figure 6.35).

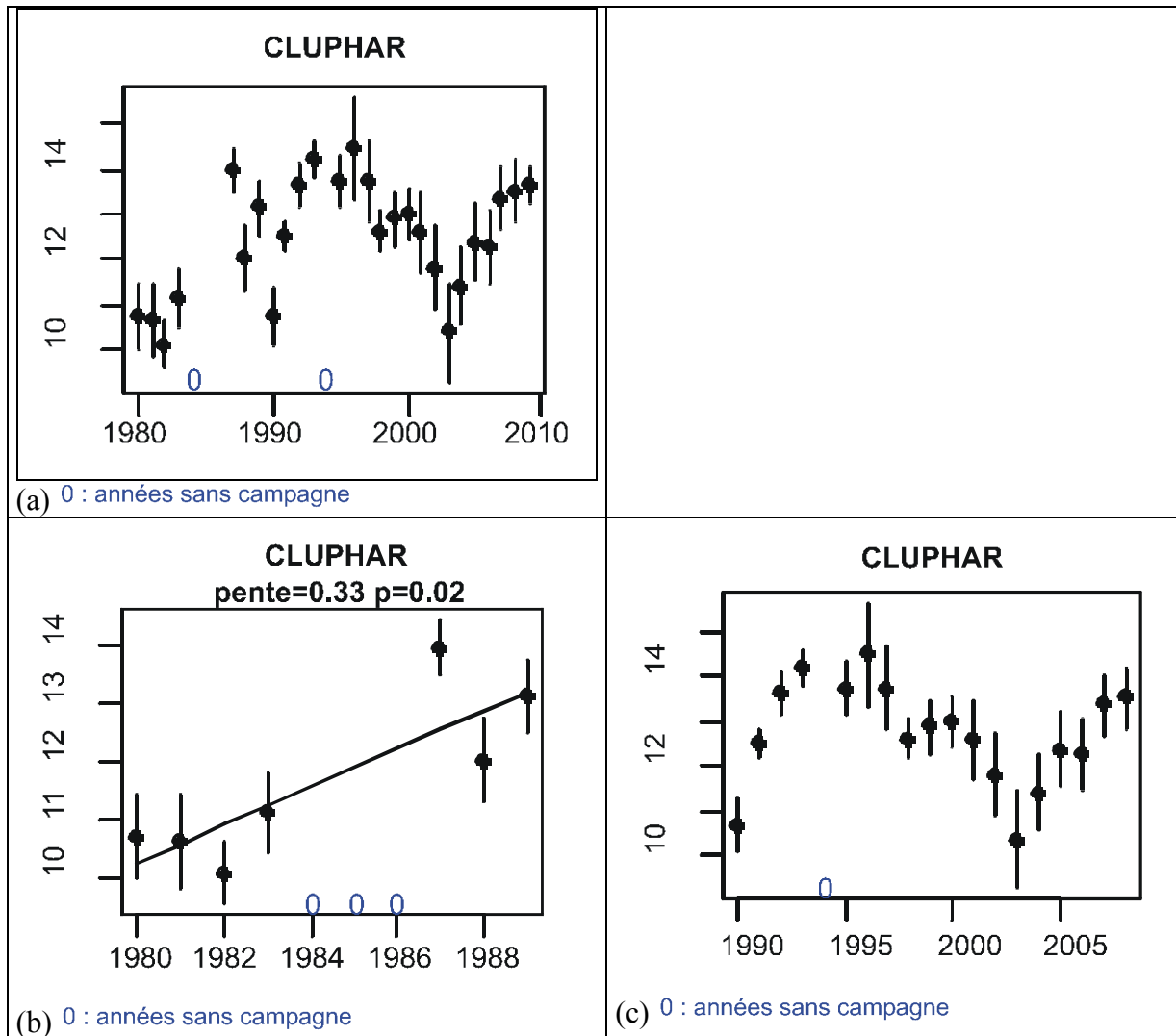


Figure 6.35 : Évolution et tendances sur l'ensemble de la série 1989-2009 (a) et au cours des périodes 1980-1989 (b) et 1990-2009 (c)

### 6.2.4 Conclusion

Les travaux effectués dans le cadre de cette synthèse ont permis de dresser un historique des flottilles et de leur pratiques de pêche dans la région de Penly et ainsi d'observer leur évolution. Le suivi halieutique effectué depuis 1979 dans le cadre des études IGA a par ailleurs permis de constituer une série historique de données de chalutages expérimentaux très importante, portant sur les années 1979 à 2009. La présente synthèse fait apparaître l'intérêt des longues séries temporelles pour émettre un diagnostic sur l'évolution des populations échantillonnées, compte-tenu des importantes variations interannuelles d'abondance observées pour la plupart des espèces. Cet intérêt est conditionné par le maintien au fil du temps d'une même stratégie d'échantillonnage.

Sur la période 1985-2009 le nombre de navires a diminué alors que leur puissance moyenne a augmenté. Dans le même temps la contribution de la baie de Somme à la flottille de pêche côtière a diminué. Les pratiques ont également évolué, la prédominance du chalutage ayant fait place au développement des arts dormants.

Les productions du quartier de Dieppe, après une diminution, présentent un tassement avec une proportion croissante de la coquille St Jacques dans les apports. La production de crevette grise de baie de Somme a fortement diminué à la fin des années 80, comme l'ensemble de la production française.

Cette diminution des captures de crevette grise peut être mise en parallèle avec celle observée lors des campagnes expérimentales de chalutage. Ces dernières ont également permis de mettre en évidence une diminution significative de l'abondance de 5 autres espèces parmi les 12 étudiées. Seuls deux espèces, ou groupes d'espèces, présentent une augmentation significative d'abondance. Il s'agit des raies et de la petite sole jaune.





## **7 Conclusion générale**



Les études menées depuis plus de trente ans sur le domaine marin côtier bordant le Pays de Caux (département de la Seine-Maritime), pour la plupart réalisées dans le cadre réglementaire de la surveillance des rejets du CNPE de Penly, ont permis de préciser les cycles naturels de quelques éléments physiques, chimiques ou biologiques, et d'en améliorer parfois la compréhension tant de leur évolution que de leurs fluctuations.

Au regard des données climatologiques acquises depuis près de 50 ans, le cycle météorologique annuel moyen est celui d'un régime tempéré et océanique, certes moins prononcé qu'au droit du CNPE de Flamanville situé sur la côte nord-ouest du Cotentin (département de la Manche) :

- le cumul pluviométrique annuel avoisine 800 mm sur l'ensemble de cette période mi-séculaire, sans différence significative entre les deux sous-périodes 1960-1989 et 1990-2008 ;
- la température moyenne annuelle de l'air est de 10,1 °C au cours de la première sous-période, 11,2 °C au cours de la seconde ;
- la température présente au cours de l'année une allure sinusoïdale caractéristique, avec un minimum thermique en janvier ou février, un maximum en août.

L'acquisition depuis la mi-1990 d'une série originale et ininterrompue de la température journalière de l'eau de mer permet de préciser sa valeur moyenne annuelle (12,6 °C), avec, comme pour l'air, un minimum moyen mensuel en février (6,8 °C) et un maximum en août (19,4 °C). Sur cette période de 1990 à nos jours, une corrélation significative est d'ailleurs établie entre les températures de l'air et de l'eau de mer.

L'examen par période quinquennale (cumuls pour la pluviométrie ; températures moyennes pour l'air et l'eau de mer) sur les périodes 1960-2008 et 1990-2008 :

- ne montre pas de tendance significative de la pluviométrie ;
- montre une augmentation régulière des températures, tant de l'air que de l'eau de mer.

Dans ce contexte climatique, les différents paramètres mesurés dans le cadre des études menées pour la surveillance des rejets thermiques et chlorés du CNPE de Penly suivent leurs cycles respectifs tels que classiquement décrits en Manche-Est, avec des gradients côte-large d'une part, Baie de Seine – Baie de Somme (ou Ouest-Est) d'autre part.

## **Compartiment hydrologique**

L'influence quantifiable de la centrale à travers ses rejets se résume principalement à un échauffement de la masse d'eau limité aux abords immédiats des deux bouches de rejet, une possible augmentation des concentrations maximales en MES et la présence occasionnelle de bromoforme sur la radiale au droit du site.

### ***Température***

La variabilité spatiale est faible en raison du brassage relativement important de la colonne d'eau dans ce secteur de la Manche. Les variations saisonnières sont identiques à celles

observées localement dans le cadre du REPHY (du cap d'Antifer au cap Griz Nez) ou de la surveillance des autres centrales nucléaires (Paluel et Flamanville).

La mise en service de la centrale n'a que très peu modifié la distribution générale des teneurs en MES avant 1990. Les concentrations maximales observées depuis 1990 sont toutefois plus élevées ( $\sim 100 \text{ mg L}^{-1}$ ), mais 80 % des valeurs restent du même ordre que celles d'avant 1990.

Paradoxalement, les médianes calculées sur la période 1990-2008 sont inférieures à celles d'avant la mise en service de la centrale. Elles mettent aussi en évidence un gradient côte/large décroissant, suggérant que l'action physique des rejets n'affecte pas directement la distribution spatiale des teneurs en MES. Comparées aux autres centrales, les concentrations en MES à Penly sont similaires à celles de Paluel et légèrement supérieures à celles de Flamanville. Aucune tendance particulière n'est mise en évidence au cours de la période de surveillance. Si la hausse des teneurs maximales en MES depuis 1990 apparaît directement liée au fonctionnement de la centrale, elle pourrait aussi résulter de la variabilité naturelle de ce paramètre, car les niveaux de concentrations restent dans la gamme de ceux couramment observés en milieu côtier.

### ***Bromoformes***

Les concentrations en trihalométhanes sont occasionnellement détectables sous forme de bromoforme. La distribution des concentrations sur la période 1991-2008 met clairement en évidence l'influence du rejet en été et en automne. Le bromoforme est aussi parfois détectable aux stations proches de celles du rejet (*canal* et *contrôle*). Toutefois, les concentrations maximales sont toujours restées inférieures à  $4 \mu\text{g L}^{-1}$  et sont donc largement en dessous du seuil dit 'acceptable' de  $10 \mu\text{g L}^{-1}$ . Elles sont comprises entre celles de Paluel et de Flamanville. Par conséquent, l'empreinte des rejets de trihalométhane de la centrale reste très limitée tant sur le plan spatial que sur le plan des concentrations.

Ces rejets et perturbations ne semblent toutefois pas affecter à moyen terme ( $\sim 20/30$  ans) l'équilibre du domaine pélagique autour de la centrale de Penly.

Les variations saisonnières des paramètres physico-chimiques de l'eau de mer sont classiques et en relation avec l'hydrodynamisme local. Les variations pluriannuelles observées sont similaires à celles observées dans des réseaux de surveillance comme le REPHY (Réseau de surveillance PHYtoplanctonique) ou au niveau des autres centrales nucléaires de Paluel et Flamanville. La nature des tendances pluriannuelles observées s'expliquent alors généralement par l'évolution du protocole de surveillance et/ou l'évolution climatique globale et ne sont pas attribuables au fonctionnement de la centrale.

## **Compartiment Phytoplanctonique**

Lors de cette étude, la biomasse chlorophyllienne, la production primaire et les abondances phytoplanctoniques ont été suivies.

Le suivi de ce compartiment, qui est à la base du réseau trophique, permet de faire le lien entre les facteurs abiotiques (chimique, physique) de la colonne d'eau et le compartiment zooplanctonique, qui se situe à un niveau trophique supérieur (consommateurs primaires ou secondaires). Le phytoplancton, par le biais de la photosynthèse, va produire de la matière organique à partir de matière minérale et d'énergie lumineuse. Ce compartiment assure ainsi la majorité de la production primaire de carbone des océans.

Compte tenu du fort taux de croissance et de renouvellement des communautés phytoplanctoniques, le suivi de ce compartiment montre une variabilité importante en particulier au moment des efflorescences printanières et automnales. De plus, les cellules phytoplanctoniques présentent une grande plasticité physiologique qui leur permet de s'adapter rapidement aux variations de l'environnement qui sont souvent soudaines dans les écosystèmes côtiers. Cette plasticité peut se traduire par des variations de la concentration en Chla par cellule ou par la modification des capacités de production primaire en réponse à des forçages environnementaux (lumière, nutriments, température etc.).

L'évolution spatio-temporelle des trois paramètres étudiés est globalement similaire sur les séries de données obtenues avant et après la mise en service de la centrale.

Comme expliquée et détaillée précédemment, la hausse printanière des biomasses de Chla après la mise en service de la centrale peut s'expliquer par la modification des stratégies de suivi.

Nous observons un cycle annuel du phytoplancton conforme à celui couramment décrit dans les écosystèmes côtiers des zones tempérées. Les faibles valeurs hivernales augmentent progressivement pour atteindre le maximum annuel de mai à juin. Il s'en suit une diminution progressive vers le minimum hivernal. Un sursaut automnal est souvent observé sous nos latitudes. Ce sursaut qui correspond aux efflorescences automnales est peu présent à Penly.

Les valeurs de biomasse et d'abondance phytoplanctoniques sont du même ordre de grandeur que celles observées couramment dans la zone d'étude, on peut cependant noter que les biomasses observées à Penly sont plus élevées que celles observées dans la centrale voisine de Paluel et la variabilité des données y est supérieure.

La zone de Penly présente donc une forte dynamique des communautés phytoplanctoniques. De plus, les valeurs observées au point rejet ne sont pas sensiblement différentes de celles enregistrées aux points canal, contrôle ou référence.

La valeur médiane en chlorophylle du rejet au printemps (1990-2009) est toutefois supérieure à celles des autres points, ce qui peut s'expliquer par la variabilité spatiale et par le décalage temporel entre l'entrée de l'eau via le canal d'amenée et le rejet de cette eau. En effet le canal d'amenée constitue un réservoir d'eau important qui entraîne un décalage de quelques heures entre l'entrée d'une particule d'eau dans ce canal et sa sortie au niveau du rejet.

Les espèces identifiées avant et après les mises en service de la centrale sont les mêmes que celles observées dans les autres études locales (Paluel) et régionales (Flamanville).

En conclusion, les différentes stratégies mises en place pour suivre les différents paramètres du compartiment phytoplanctonique n'ont pas permis de mettre en évidence un déséquilibre du milieu généré par l'activité de la centrale de Penly.

## **Compartiment zooplanctonique**

La surveillance zooplanctonique du site de Penly, en cours depuis 1987, n'a pas pour objectif de suivre l'évolution saisonnière du zooplancton. Son objectif est d'observer lors de trois situations annuelles la communauté zooplanctonique en quatre points plus ou moins impactés par les rejets de la centrale, afin de voir si les différences observées peuvent être le signe d'une perturbation liée au fonctionnement de la centrale ou bien à la variabilité naturelle dans l'environnement.

Les seules différences significatives observées concernent les mesures de biomasse sestonique et les abondances totales du zooplancton relevées au point *canal* au printemps et en été.

Celles-ci sont en générales plus faibles que ce que l'on observe aux points *rejet*, *contrôle* et *référence*. La configuration particulière à l'entrée du canal d'amenée de l'eau vers la centrale, protégée par les digues et de faible profondeur (< 3m), peut expliquer ces variations au travers d'une explication technique : il est en effet assez difficile de déployer le filet à plancton sur ce point, et le volume d'eau filtré est souvent moindre comparé aux autres points de prélèvement.

Aucunes différences significatives de biomasse ou d'abondance ne sont observées pour les autres points de prélèvements, ainsi qu'entre les quatre points de prélèvements en période automnale.

La comparaison avec l'étude de référence de 1978 conduit à l'observation de biomasses sestoniques actuelles du même ordre de grandeur. Par conséquent le fonctionnement de la centrale n'a pas entraîné de modification visible à long terme sur la quantité de seston présent dans la colonne d'eau. De même les abondances zooplanctoniques observées lors de la période d'étude d'avant-projet en 1977 sont semblables à celles observées en moyenne depuis 1987.

De plus l'abondance et la succession des espèces zooplanctoniques observées depuis 1987 sont cohérentes avec les observations faites de 1977 à 1978 ; elles restent caractéristiques des milieux côtiers de la Manche et de la baie sud de la Mer du Nord.

L'ensemble des observations sur le zooplancton depuis la mise en fonction de la centrale de Penly permet de conclure à l'absence de détection d'un éventuel impact négatif à long terme de la centrale sur les communautés zooplanctoniques.

## **Compartiment benthique**

La première particularité des études menées sur ce compartiment porte sur la mise au point en 1988 d'un protocole d'étude original et novateur pour décrire et surveiller un milieu, protocole repris à partir des années 2000 dans le cadre du Réseau National Benthique REBENT et généralisé dans de nombreuses études d'impact dont celles émergentes en lien avec les projets d'énergie marine renouvelable (parc éolien offshore, parc hydrolien), ou encore d'aide à la description de parcs marins ou d'aires marines protégées.

Ce protocole associe la description biologique d'un site à sa description morpho-sédimentaire au moyen d'un sonar latéral et de divers sondeurs.

Cette étude assez lourde à mener, est réalisée tous les quatre ans depuis 1988.

Les principaux résultats obtenus portent sur :

- la description des mouvements sédimentaires naturels existants le long du littoral de la Baie de Seine vers le Pas-de-Calais ;
- la relation substrats-peuplements permettant de mieux appréhender les fluctuations importantes de densités de certaines espèces, comme les polychètes sédentaires *Lanice conchilega* ;
- une meilleure description spatiale des divers peuplements, en notant l'apparition ou la disparition de certaines espèces en lien avec le réchauffement climatique (notion de répartition bio-géographique), ainsi que le comportement proliférant d'autres espèces

comme le gastéropode *Crepidula fornicata* dont l'aire de répartition continue à s'étendre vers le nord-est de la Manche.

La principale observation de ce protocole porte, non pas sur l'impact des rejets de la Centrale de Penly sur le milieu marin - ils existent certainement mais sont indétectables comparés aux impacts naturels météorologiques et climatiques – mais l'impact du milieu sur cette Centrale.

Ainsi les ensablements massifs et réguliers du canal d'amenée de la centrale trouvent leur origine dans les mouvements sédimentaires naturels, perturbés localement par le Cap d'Ailly et ses effets sur cette portion du littoral entre Dieppe et Le Tréport.

L'impact le plus visible de la Centrale est le développement de la plage située immédiatement à l'ouest de ses digues qui piègent, en haut d'estran, les particules sableuses en transit.

## **Compartiment Ichtyoplanctonique**

En ce qui concerne le suivi des œufs et larves des soles, limandes, sprats et sardines, des remarques préalables doivent être faites sur la diminution (i) du nombre de prélèvements au fur et à mesure de la série temporelle et (ii) de la période d'étude beaucoup plus restreinte dans le temps (le plus souvent sur 2-3 mois). Ces deux évolutions du protocole ne permettent pas toujours de circonscrire la totalité des périodes de ponte des différentes espèces.

Ceci étant précisé, les principales observations portent sur une nette diminution des abondances des œufs des différentes espèces étudiées dans la deuxième partie de la série temporelle. Ce changement intervient après les années 1997-1998. Cette diminution est accentuée, au niveau tant des œufs que des larves, au cours des 3 dernières années 2006-2008.

### ***La Sole***

Depuis 2007, on note une diminution importante de l'abondance des œufs, les maxima observés ces trois dernières années sont les plus bas de la série.

Les larves de cette espèce présentent aussi des abondances en nette diminution depuis 2005, voire nulles depuis deux ans.

### ***La limande***

Concernant les œufs de limande, l'autre espèce de poisson plat étudiée aux abords du site de Penly, les abondances depuis 2007 sont parmi les plus faibles de la série. Les larves de limande sont absentes des prélèvements depuis 2005. Pour ces deux espèces de poisson plat, contrairement à 2007, il a été possible d'échantillonner durant la période maximale de ponte (première quinzaine de mai) ; l'hypothèse d'une mauvaise évaluation pendant cette période importante est donc à écarter. Cette tendance semble indiquer une disparition des œufs de sole et de limande de la zone d'étude, les abondances ne montrant pas d'augmentation depuis 2005.

En ce qui concerne les œufs et les larves des autres espèces de poisson étudiées, le constat est sensiblement le même : on observe les plus faibles abondances de la série de 2007 à 2009 pour le sprat (œufs et larves).

### ***Le sprat***

Les abondances des œufs et des larves de sprat sont moyennes pour l'année de référence et, pour cette espèce, des pics d'abondance élevée sont enregistrés tout au long de la série

temporelle quand on considère l'abondance non plus avec une valeur par saison mais une valeur moyenne par année. Cependant, comme pour les deux espèces de poissons plats déjà décrites dans cette étude, on observe les plus faibles abondances de la série de 2007 à 2009 pour le sprat (œufs et larves).

### ***La sardine***

Même si les œufs de sardine montrent en 2007 une légère augmentation en abondance, ces valeurs redeviennent très faibles en 2008 et 2009, voire même une complète disparition des prélèvements, comme ce qui avait été observé en 2005 et 2006. Dès la fin mai, on n'observe plus (ou rarement) d'œufs de sardine ce qui indiquerait que la période de ponte s'achève vers la fin avril – début mai. Les larves de sardine sont complètement absentes des échantillons depuis 2007, comme cela avait déjà été observé de 1995 à 1998.

Ces constatations sur une période de ponte semble t-il plus précoce devraient nous amener à envisager la possibilité de commencer la surveillance des espèces ichthyoplanctoniques dès le mois de mars afin de couvrir au mieux la période de reproduction de la sole, de la limande, du sprat et de la sardine. De telles dispositions ont déjà été prises plus au nord pour la surveillance du site de la centrale de Gravelines où une précocité de la période de ponte de la sole et du sprat a également été observée.

## **Compartiment Halieutique**

Les travaux effectués dans le cadre de cette synthèse ont permis de dresser un historique des flottilles et de leurs pratiques de pêche dans la région de Penly et ainsi d'observer leur évolution.

Le suivi halieutique effectué depuis 1979 dans le cadre des études IGA a par ailleurs permis de constituer une série historique de données de chalutages expérimentaux très importante, portant sur les années 1979 à 2009.

La présente synthèse fait apparaître l'intérêt des longues séries temporelles pour émettre un diagnostic sur l'évolution des populations échantillonnées, compte-tenu des importantes variations inter-annuelles d'abondance observées pour la plupart des espèces. Cet intérêt est conditionné par le maintien au fil du temps d'une même stratégie d'échantillonnage.

Sur la période 1985-2009 le nombre de navires a diminué alors que leur puissance moyenne a augmenté.

Dans le même temps la contribution de la baie de Somme à la flottille de pêche côtière a diminué.

Les pratiques ont également évolué, la prédominance du chalutage ayant fait place au développement des arts dormants.

Les productions du quartier de Dieppe, après une diminution, présentent un tassement avec une proportion croissante de la coquille St Jacques dans les apports.

La production de crevette grise de baie de Somme a fortement diminué à la fin des années 80, comme l'ensemble de la production française.

Cette diminution des captures de crevette grise peut être mise en parallèle avec celle observée lors des campagnes expérimentales de chalutage.



Ces dernières ont également permis de mettre en évidence une diminution significative de l'abondance de 5 autres espèces parmi les 12 étudiées. Seuls deux espèces, ou groupes d'espèces, présentent une augmentation significative d'abondance. Il s'agit des raies et de la petite sole jaune.

\* \* \*

La synthèse des diverses et nombreuses observations scientifiques réalisées sur le milieu marin au droit du Pays de Caux depuis une trentaine d'années permet de conclure sur le constat :

- d'un milieu régi par des grands cycles saisonniers, annuels ou pluriannuels, spécifiques aux espèces ou paramètres étudiés ;
- d'un milieu sous l'influence directe des variations météorologiques pour le court terme, climatiques pour le long terme.

Les importantes séries chronologiques de données, aujourd'hui disponibles, permettent d'apprécier certaines fluctuations d'un cycle, de les comprendre et les quantifier.

Aucun impact significatif sur le milieu marin physique ou biologique des rejets du CNPE de Penly n'a pu être mis en évidence au cours des 20 premières années de fonctionnement.



## **8 Bibliographie**



**ABARNOU, A., GUILLAUD, J-F., MIOSSEC, L.& A. BATT, 1990.** La chloration des effluents urbains avant rejet en mer. *Rapports scientifiques et techniques de l'Ifremer*. N°20, 167 pp.

**ALDEBERT, Y., 1975.** Comparaison des rendements du "Bongo".- Rapport F.A.O.- I.S.T.P.M.

**ALLEN H., DELANNOY B., 1990.** Mesures de houle en différents sites du littoral français. Édition n° 6. Rapport EDF-LNH HE-45/90.07.

**ANONYME 2007-** Cartographie des peuplements macrobenthiques en Manche orientale (1978), Produit numérique REBENT Ifremer-Université-CNRS, 2007

**ARBAULT S., LACROIX N., 1975.** Essais comparatifs des pouvoirs de capture de 2 filets à plancton (GULF III encasé et Bongo) - Cons. Int. Explor. Mer, Comité des poissons pélagiques (sud), J : 8.

**AUFFRET J.P., 1977.** Prolongement sous-marin des structures affectant la couverture créacé et paléogène du littoral de Haute-Normandie. Ve réunion annuelle des Sciences de la Terre, Rennes.

**AUFFRET J.P., LARSONNEUR C., 1975.** Le modèle sédimentaire, Manche orientale. IXe congrès de sédimentologie, Nice.

**AUGRIS C., CLABAUT P., BOURILLET J.F., DREVES L., 1993.-** Carte morpho-sédimentaire du domaine marin côtier entre Dieppe et Le Tréport (Seine-Maritime). *EDF, ESTRAN et IFREMER éditeurs*.

**AUGRIS C., CLABAUT P., COSTA S., GOURMELON F., LATTEUX B., 2004 -** Evolution morpho-sédimentaire du domaine littoral et marin de la Seine – Maritime. 158 p. (*Editions Ifremer, Bilans et Prospectives*)

**BELDERSON R.H., JOHNSON M.A., KENYON N.H., 1982.** Bedforms in offshore tidal sands. Stride A.H. (ed.), Chapman & Hall, London, 27-57.

**BERTRAND J. (EDIT.) 2004.** L'état des communautés exploitées au large des côtes de France. Application d'indicateurs à l'évolution de l'impact de la pêche. Démarche Ecosystémique pour l'Halieutique. Système d'Information Halieutique – Campagnes à la mer. Groupe de Travail « Indicateurs de population et de peuplements ». 37 p + Annexes.

**BIGOT J.L., 1979.** Identification des zoés de tourteau (*Cancer pagurus* L.) et d'étrille (*Macropipus puber* L.) - Comparaison avec d'autres zoés de morphologie très voisine.- Cons. Int. Explor. Mer, Comité de l'océanographie biologique, L : 17.

**BLANCHARD M., CLABAUT P., ABERNOT-LE GAC C., 2006 -** Cartographie et évaluation du stock de crépidules en baie du Mont Saint-Michel en 2004, ,rapport Ifremer/Dyneco, mars 2006

**BRGM, France, 1/500 000.**

**CABIOCH L., GENTIL F., GLAÇON R., RETIERE C., 1978,** Le bassin oriental de la Manche, modèle de distribution de peuplements benthiques dans une mer à fortes marées. *Journal de Recherche Océanographique*, 3 (1) : 24

**CABIOCH L., GLAÇON R., 1975,** Distribution des peuplements benthiques en Manche orientale, de la Baie de Somme au Pas-de-Calais, C. R. Acad. Sc. Paris, t. 280, série D (27 janvier 1975), pp. 491-494

**CABIOCH L., GLAÇON R., 1975.** Distribution des peuplements benthiques en Manche orientale, de la baie de Somme au Pasde-Calais. C.R. Acad. Sci., Paris, 280D, 491-494.

**CABIOCH L., GLAÇON R., 1977,** Distribution des peuplements benthiques en Manche orientale, du Cap d'Antifer à la Baie de Somme, C. R. Acad. Sc. Paris, t. 285, série D (18 juillet 1977), pp. 209-212

**CABIOCH L., GLAÇON R., 1977.** Distribution des peuplements benthiques en Manche orientale, du Cap d'Antifer à la baie de Somme. C.R. Acad. Sci., Paris, 285D, 290-212.

**CLABAUT P., 2008** – Cartographie du domaine marin côtier entre le cap d'Antifer et la Pointe d'Ailly (Haute – Normandie) : *Rapport Ifremer, 25p. + annexes.*

**CLABAUT P., 2009.** Étude morphosédimentaire du domaine marin côtier entre Dieppe et Criel-sur-Mer (Seine-Maritime, France), mission Bencaux, Mai 2008. *Rapport Ifremer 50 p. + annexes + 2 cartes hors texte.*

**CLABAUT P., 2010** – Facteurs naturels et anthropiques de distribution et de dynamique des fonds marins côtiers - Application aux fonds sableux de Manche orientale et aux herbiers de Posidonies de Corse - *Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches Université de Corse, 200 p.*

**CNEXO, STATION BIOLOGIQUE DE ROSCOFF, LABORATOIRE DE BIOLOGIE MARINE DE WIMEREUX, 1976** – Etude biologique d'avant-projet sur le site de Penly, Pays de Caux. Rapport CNEXO, 85p.

**COSTA S., 1997.** L'impact des aménagements, des variations du niveau marin et des modifications climatiques entre la baie de Seine et la baie de Somme. Thèse de l'université de Paris I Panthéon-Sorbonne, 347 p.

**COSTA S., 2000.** Réactualisation des connaissances et mise en place d'une méthode de suivi de la dynamique du littoral haut-normand et picard. Rapport final. Préfecture de Picardie. Contrat de plan interrégional du Bassin de Paris, (CPIBP), 103 p.

**COSTA S., DELAHAYE D., 2002.** Beach Erosion of the Rives Manche. (Pérennité des plages de galets de l'Espace RivesManche-BERM); Programme européen de Recherche Interreg II. Rapport final, Diren Haute-Normandie, 90 p.

**COSTA S., GOURMELON F., AUGRIS C., CLABAUT P., LATTEUX B., 2005,** Apport de l'approche systémique et pluridisciplinaire dans l'étude du domaine littoral et marin de la Seine-Maritime (France), *Norois*, n° 196-2005/3, p. 91-108. <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/16/28/47/PDF/Costa.pdf>

**DE LA TORRE Y., 2001.** Utilisation d'un système d'information géographique pour l'analyse morpho-sédimentaire en domaine marin côtier: application aux fonds marins entre Dieppe et Le Tréport (Seine-Maritime). DEA de Géographie, université de Bretagne occidentale (UBO), Brest, France.

**DHELLEMES F., 1985.** Étude sédimentologique de la zone Dieppe-Le Tréport et du désensablement de la plage de Puys -Neuville-les-Dieppe. Rapport EDFLNH HE-42/85.11.

**DOLIQUE F., 1998.** Dynamique morphosédimentaire et aménagements induits au sud de la baie de Somme. Thèse de doctorat de l'université du Littoral, Dunkerque, 417 p.

**DORIS, 1981.** Campagne de reconnaissance des fonds dans la zone des rejets et devant l'entrée du chenal de Penly. Rapport pour le compte de EDF.

**DREVES L., CLABAUT P., 1989.** Le domaine benthique. *In*: Surveillance écologique et halieutique de l'environnement marin du site de la centrale de Penly (Manche Est), année 1988. *Arzul G. et al. Rapport Ifremer DERO-EL/89-22, 45-133 + 2 cartes.*

**DREVES L., CLABAUT P., CHEVALIER C., 1995a.** Étude biomorphosédimentaire du domaine marin côtier de Penly, mission Sonpen, mai 1992. *Rapport Ifremer 92 p. + 3 cartes hors texte.*

**DREVES L., CLABAUT P., CHEVALIER C., 2002.** Étude biomorphosédimentaire du domaine marin côtier entre Dieppe et Criel-sur-Mer (Seine-Maritime, France), mission Pycaso, avril 2000. *Rapport Ifremer 62 p. + annexes + 2 cartes hors texte.*

**DREVES L., CLABAUT P., CHEVALIER C., ABERNOT – LE GAC C., 2006.** Étude biomorphosédimentaire du domaine marin côtier entre Dieppe et Criel-sur-Mer (Seine-Maritime, France), mission Cauxsom, Juillet 2004. *Rapport Ifremer 108 p. + ? annexes + 2 cartes hors texte.*

**DREVES L., CLABAUT P., COÏC D., 1997.** Étude biomorphosédimentaire du domaine marin côtier entre la pointe d'Ailly et Criel-sur-Mer (Seine-Maritime, France), mission Pycaux, juillet 1996. *Rapport Ifremer 46 p. + annexes + 2 cartes hors texte.*

**DREVES L., CLABAUT P., TETARD A., AUGRIS C., CHEVALIER C., 1995b.** Reconnaissance biomorphosédimentaire des fonds marins au large de Dieppe-Le Tréport (Seine-Maritime, France), mission Pylar, mars 1993. *Rapport Ifremer 132 p. + annexes + 4 cartes hors texte.*

**FRIEDMAN G.M., 1962.** On sorting, sorting coefficients, and the lognormality of the grain-size distribution of sandstones. *J. Geol.*, 70, 737-753.

**GENTIL F., CABIOCH L., 1997,** Carte des peuplements macrobenthiques de la Baie de Seine et de la Manche centrale sud, éditions de l'Observatoire océanologique de Roscoff

**GUILLAUMONT B., HAMON D., LOARER R., 1983.** Site de Penly. Étude écologique de projet. Vol. 1, chapitre VII : le benthos. *Rapport Cnexo, 207-268.*

**HOSLIN R., MASSIAS J., BRISSET P., GOUSSEAU G., 1985.** Mesures, au moyen de traceurs radioactifs, des transports sédimentaires devant l'entrée du port de Dieppe sous l'action des courants et des houles. *Rapport Oris -SAR 85-113/H49.*

**JANIN J.M., ANNEBICQUE A., 1996.** Suivi à long terme des masses d'eau en Manche-Sud mer du Nord. Validation sur les rejets de La Hague. *Rapport EDF-LNH HE-42/96.63.*

**JANIN J.M., LE VAILLANT T., 1995.** Étude des dérives en Manche et au sud de la mer du Nord. Constitution d'une banque de données. *Rapport EDF-LNH HE 42/94.56.*

**LARSONNEUR C., 1971.** Manche centrale et baie de Seine : géologie du substratum et des dépôts meubles. Thèse de l'université de Caen, 394 p.

**LARSONNEUR C., VASLET D., AUFFRET J.P., 1978.** Les sédiments superficiels de la Manche. Carte à l'échelle 1/500 000. Éd. Cnexo-BRGM.

**LATTEUX, 2001-** Synthèse sur les problématiques et enjeux d'évolution du littoral haut-normand et picard. I : le milieu physique. Préfecture de la Région Picardie et DDE de la Somme.

**LCHF, 1972.** Étude de la production des galets sur le littoral haut-normand. 63 p.

**LCHF, 1974.** Étude du littoral entre Le Havre et Antifer. Étude théorique et

**LNH-LCHF, 1986.** Catalogue sédimentologique des côtes françaises. Côtes de la Manche et de la mer du Nord. Collection de la direction des Études et Recherches d'EDF. Éd. Eyrolles.

**MIGNIOT C., BELLESSERT B., 1974.** Protection de la côte des Bas-Champs. LCHF, rapport général, 43 p.

**MOREL V., 1997.** De la géomorphologie à la gestion des accumulations de galets littoraux du bassin de la Manche et de ses abords : études de cas (Bretagne, Haute-Normandie, Picardie, Sud Angleterre) et réflexions générales. Thèse de Géographie de l'université de Bretagne occidentale (UBO), Brest, France, 286 p.

**MORIN J., BERTRAND J., COCHARD M.L., COPPIN F., LEAUTE J.P., LOBRY J., MAHE J.C., POULARD J.C., ROCHET M.J., SCHLAICH I., SOUPLLET A., TRENKEL V., VAZ S., VERIN Y; 2009.** L'état des communautés exploitées au large des côtes de France. Application d'indicateurs à l'évaluation de l'impact de la pêche. Bilan 2004 – Edition 2009. Ifremer, 43p + Annexes 796 p.

**ROCHET M. J., V. M. TRENKEL, J. A. BERTRAND & J.-C. POULARD, 2004.** R routines for survey based fisheries population and community indicators (R-SUFI). Ifremer, Nantes. Limited distribution.

**ROCHET M.J., TRENKEL V., BELLAIL R., COPPIN F., LE PAPE O., MAHE J.C., MORIN J., POULARD J.C., SCHLAICH I., SOUPLLET A., VERIN Y. AND BERTRAND J. (2005).** Combining indicator trends to assess ongoing changes in exploited fish communities: diagnostic of communities off the coasts of France. ICES Journal of Marine Science, 62: 1647-1664.

**SHOM, 1968.** Courants de marée dans la Manche et sur les côtes françaises de l'Atlantique, n° 550.

**SHOM, 1996.** Courants de marée. Baie de Seine. De Cherbourg à Fécamp. 561UJA.

**SHOM, 2001.** Niveaux de référence de la marée dans les ports de France. Version 1.13 sur le site internet [www.shom.fr](http://www.shom.fr).

**SIH-C, 2007.** Poissons et invertébrés au large des côtes de France. Indicateurs issus des pêches scientifiques. Bilan 2004. Ifremer, Nantes, EMH : 07-001.

**SIH-C, 2009.** Grands invertébrés et poissons observés lors des campagnes scientifiques. Bilan 2007. Ifremer, Nantes, EMH : 09-002. 103p

**SIMON B., 1994.** Statistique des niveaux marins extrêmes le long des côtes de France. Rapport SHOM, 77 p. + annexes.

**STNMTE, 1995.** Catalogue de fiches synthétiques de mesures de houle.

**VASLET D., LARSONNEUR C., AUFFRET J.P., 1978 -** Carte des sédiments superficiels de la Manche.

**VILLARET C., 1993.** Évolution sédimentologique du chenal de prise d'eau de la centrale de Penly et de la plage Ouest. Rapport EDF-LNH HE-42/93.04.

-----